



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# HYDRAULIJÄRKÄLEEN KOEAJOPAIKAN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Marko Laurila

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma			
Työn tekijä			
Marko Laurila			
Työn nimi			
Hydraulijärkäleen koeajopaikan suunnittelu			
Päiväys	28.1.2014	Sivumäärä/Liitteet	42/-
Ohjaajat			
Raimo Lehtiniemi, lehtori ja Juha Pakarinen, päätoiminen tuntiopettaja			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani			
Junttan Oy / Markku Koffert, huoltopäällikkö			
Tiivistelmä			
<p>Junttan Oy:llä oli tarve uudelle hydraulijärkäleen koeajopaikalle, koska aikaisemmat eivät kestäneet entistä tehokkaampien järkäleiden koeajoa. Lisäksi koeajosta aiheutui kohtalaista melu- ja värinähaittaa lähiympäristölle. Työn tavoitteena oli suunnitella rakenteeltaan kestävämpi, ympäristöystävällisempi sekä käyttäjiään paremmin palveleva ratkaisu.</p> <p>Työssä haastateltiin ensin vapaamuotoisesti seitsemää Junttan Oy:n työntekijää, joilta saatiin tietoa hydraulijärkäleen koeajopaikan ongelmista. Lähtötietojen jälkeen perehdyttiin lähdeostosten avulla meluun, värinään sekä mitä määryksiä näistä on. Hydraulijärkäleen koeajossa oleviin ongelmiin etsittiin ratkaisuja tutustumalla lähdemateriaalien avulla erilaisiin lyöntipaalutusmenetelmiin, maalajien ominaisuuksiin sekä maaperän- ja paalun käyttäytymiseen paalutuksessa. Tämän teoriatiedon ja käytännön kokemuksen avulla kehitettiin erilaisia ratkaisuja, joiden toimintaa testattiin itse valmistetuilla pienoismalleilla. Lopuksi kirjalliseen työhön valittujen pienoismallien kokeet raportoitiin ja mallien luonnoskuvat piirrettiin Auto CAD 2012 -ohjelmalla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena löytyi ratkaisuja, joiden avulla voidaan vähentää koepaalutuksesta ympäristöön aiheutuvia melu- ja värinäpäästöjä sekä saavuttaa paremmin käytännön olosuhteita vastaava koeajotilanne. Työn tuloksista hyötyy Junttan Oy:n lisäksi myös lähialueen asukkaat ja ympäristö.</p>			
Avainsanat			
Paalutus, melu, värinä, koeajopaikka, viranomaismääritykset			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Management			
Author Marko Laurila			
Title of Thesis Design of a test run site for a hydraulic hammer			
Date	28 January 2014	Pages/Appendices	42/-
Supervisor(s) Raimo Lehtiniemi, lecturer and Juha Pakarinen, full-time teacher			
Client Organisation /Partners Junttan Oy / Markku Koffert, Service Manager			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to plan a new test run site for hydraulic hammers for Junttan Oy because the existing ones were not strong enough to sustain test runs of more effective hydraulic hammers. In addition, test runs exposed the surrounding environment to noise and vibration pollution. The purpose of this study was to design a more durable and environmentally-friendly solution that would service the users better.</p> <p>First, free interviews were conducted with seven employees of Junttan Oy, who provided information about the problems with the hydraulic hammer test run site. After the initial data was gathered, noise, vibration and related regulations were examined with the help of literature. Solutions were tried to find for problems in hydraulic hammer test runs by using the literature to familiarize with different impact pile-driving methods, soil type characteristics and ground and pile behaviour during pile driving. With the help of the theoretical data and practical experience various solutions were developed, which were tested using constructed scale models. Finally, the tests were reported with the chosen scale models and model sketch designs were drawn using the Auto CAD 2012 program.</p> <p>As a result of the study, solutions could be found which can be used to reduce noise and vibration emissions to environment during test pile-driving. Based on these solutions, a new test run setting can be constructed, which corresponds better with the actual conditions during piling. The results of the study will benefit Junttan Oy, the environment and people living in the surrounding area.</p>			
Keywords Pile driving, noise, vibration, test run site, official specifications			

## ALKUSANAT

Ajatus opinnäytetyön aiheesta tuli työnantajaltani Junttan Oy:ltä, jossa syntyy hydraulijärkäleen koeajosta kohtalaista melu- ja värinäpäästöjä. Ongelmia on aiheuttanut myös koelyöntipaalun kestävyys, paalun käyttäytyminen koepaalutustilanteessa sekä alueen käytettävyys.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella erilaisia ratkaisuja uudelle koelyöntipaikalle pääsääntöisesti rakennusalan ratkaisuilla. Tämä on ollut pitkä ja haasteellinen projekti, jossa on meinannut usko loppua kesken moneen kertaan.

Erityinen kiitos kuuluu avopuolisolleni kannustamisesta työn vaikeimmilla hetkillä. Haluan kiittää myös koulun ohjaajiani Raimo Lehtiniemeä sekä Juha Pakarista hyvistä neuvoista sekä maltista työtäni odotellessa. Junttan Oy:n työnohjaajalle Markku Koffertille kuuluu myös iso kiitos lukuisista ohjaushetkistä, joihin löytyi aikaa kiireenkin keskellä. Hyvän ohjauksen ansiosta en käyttänyt aikaani turhaan, vaan pystyin keskittymään parhaimpiin ideoihin ja työn loppuun saattamiseen.

Kuopiossa 28.1.2014

Marko Laurila

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	JUNTTAN OY.....	8
3	TÄRINÄ .....	10
3.1	Haittavaikutukset .....	11
3.2	Säädökset .....	12
3.3	Tärinä paalutuksessa.....	12
4	MELU .....	15
4.1	Melun haittavaikutukset.....	16
4.2	Säädökset .....	16
4.3	Melu paalutuksessa .....	17
5	HYDRAULIJÄRKÄLEEN KOEAJO.....	18
5.1	Hydraulijärkäleet.....	18
5.2	Iskuaallon heijastuminen koeajopaalusta .....	19
5.3	Junttan Oy:tä koskevat viranomaismääräykset koeajossa .....	20
5.4	Koepaalutus Kelloniemessä .....	20
5.5	Koepaalutus Särkiniemessä.....	21
5.6	Koepaalutus Kylmämäessä .....	23
5.7	Koepaalutus Kylmämäessä 2013- .....	24
6	TULEVAISUUDEN RATKAISUT KOEPAALUTUKSEEN .....	25
6.1	Vaihtoehto 1. Alkuperäisen parantaminen.....	25
6.2	Vaihtoehto 2. Paalutus hiekkatäytteiseen putkeen.....	26
6.3	Vaihtoehto 3. Vaimennettu kaivanto.....	29
6.4	Vaihtoehto 4. Ponttiseinäkaivanto .....	31
6.5	Vaihtoehto 5. U-putki .....	34
6.6	Äänien vaimentaminen iskutyynyyn.....	36
7	POHDINTA.....	38
7.1	Alkuperäisen parantaminen .....	38
7.2	Paalutus hiekkatäytteiseen putken putkeen .....	39
7.3	Vaimennettu kaivanto .....	39
7.4	Ponttiseinäkaivanto .....	39
7.5	U-putki.....	40

7.6	Äänen vaimentaminen iskutyynyyn .....	40
8	YHTEENVETO.....	41
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	42

## 1 JOHDANTO

Junttan Oy on Kuopion Kylmämässä toimiva kansainvälinen yritys, joka on erikoistunut hydraulisten paalutuskoneiden ja -laitteiden suunnitteluun, valmistukseen, markkinointiin sekä huoltoon. Kaikkien valmistettavien sekä huollettavien paalutuskoneiden toiminta testataan Junttan Oy:n takapihalla olevalla koeajopaikalla.

Nykyisen koeajopaikan ongelmakohtia ovat koepaalun käyttäytyminen, melu- ja värinähaitat sekä sen kestävyys. Ympäristöviraston määräyksen nojalla meluraja laskee 1.1.2014 5 dB, jonka jälkeen meluraja on 60 dB. Näiden ongelmakohtien vuoksi koen mielenkiintoiseksi ja haasteelliseksi etsiä keinoja uuden paremman koelyöntipaikan suunnittelemiseksi. Työni tavoitteena on suunnitella rakenteeltaan kestävämpi, ympäristöystävällisempi sekä käyttäjiään paremmin palveleva ratkaisu.

Työni kannalta olennaisinta teorian tietoa on värinä, melu ja niiden aiheuttamat haittavaikutukset ihmisiin ja ympäristöön, sekä näitä ohjaavat viranomaismääritykset. Näiden lisäksi on tärkeää perehtyä erilaisiin lyöntipaalutusratkaisuihin sekä maalajien ja materiaalien ominaisuuksiin.

Teoriatietouden sekä käytännönkokemuksen pohjalta suunnittelen uusia ratkaisuja koepaalutukseen. Näiden suunnitelmien pohjalta valmistan 1:10 pienoismalleja, joilla testaan testipaalujen toimintaa käytännössä. Näistä saadaan tuloksia joiden valossa vertailen eri ratkaisuja keskenään. Parhaimmista ja työn kannalta tärkeimmistä ratkaisuista piirrän luonnoskuvat Auto CAD 2012 -ohjelmalla.

Työni tarkoituksena on löytää erilaisia vaihtoehtoja työnantajalleni ja sitä kautta saada aikaan mahdollisia parannuksia hydraulijärkäleen koeajoon, ympäristöä ja työntekijöitä unohtamatta. Toivon, että työni herättää keskustelua sekä ajatuksia uusien menetelmien kehittämisestä ja käyttöön ottamisesta.

SINI-konserniin kuuluva Junttan Oy on erikoistunut hydraulisten paalutuskoneiden ja -laitteiden suunnitteluun, valmistukseen, markkinointiin sekä huoltoon. Alkuvuosina ja koko 80-luvun Junttan käytti nimeä Savonvarvi Oy, mutta päätyi Junttan Oy:ksi vuonna 1988. (Junttan Oy 2013.)

Junttan Oy:n toimipiste sijaitsee Kuopiossa, missä se työllistää yli 130 työntekijää. Suurin osa, yli 90 %, Junttanin liikevaihdosta koostuu ulkomaanviennistä. Tärkeimmät vientialueet ovat Venäjä, Eurooppa sekä Pohjois-Amerikka. Junttan on ollut aina paalutustekniikoiden edelläkävijä. Tuotteita ja palveluita kehitetään jatkuvasti yhteistyössä asiakkaiden ja johtavien kansainvälisten tutkimuslaitosten kanssa. Tämä 35 vuoden yhteistyö on vienyt koko alaa huomattavasti eteenpäin. (Junttan Oy 2013.)

## 2.1 Vaiheet

Junttan Oy:n perusti Pentti Heinonen vuonna 1976. Heinonen kehitti paalutuskoneita Maanrakennus Heinosen käyttöön, mutta yrityksestä kehittyikin nopeasti kansainvälinen menestystarina, jonka ulkomaanvienti käynnistyi jo vuonna 1984. (Junttan Oy 2013.)

Ensimmäiset Junttan Oy:n valmistamat koneet olivat vapaapudotusjärkäleillä varusteltuja paalutus-koneita, mutta jo vuonna 1979 valmistui tuotekehityksen seurauksena ensimmäinen hydraulinen paalutuskone. Alusta alkaen tuotekehitykseen ja asiakkaiden palvelemiseen on panostettu paljon, minkä seurauksena ensimmäinen stabilointikone valmistui 1988. HHK A-sarjan järkäleiden tuoteperhe tuli markkinoille 1993 ja suurien PM26–40 koneiden tuoteperhe lanseerattiin 1996. Laadukkaan tuotekehityksen tuloksena 1990-luvun lopussa Junttan Oy:stä tuli Euroopan johtava hydraulisten lyöntipaalutuskoneiden valmistaja. (Junttan oy 2013.)

Tuotantomäärien kasvattaminen mahdollistui vuonna 2000 tuotannon muuttaessa uusiin tiloihin Kuopion Leväselle, mutta jo muutamassa vuodessa tilat kävivät pieniksi ja uusien tuotantotilojen suunnittelu käynnistyi. Tuotannon tehostuksen yhteydessä Junttanista tuli osa Pilomac-yhtymää vuonna 2006. Uusiin Kylmämässä sijaitseviin tuotantotiloihin yritys muutti vuonna 2008. Uusien tuotantotilojen ansiosta uuden tehtaan tuotantokapasiteetti on jopa kolminkertainen. (Junttan Oy 2013.)

2010-luku on ollut Junttanille kehityksen ja muutoksen aikaa. Osake-enemmistö siirtyi Brotheruksen perheelle, Junttanin ilme uudistui sekä saamaan aikaan lanseerattiin PMx20-paalutuskone ja SHK-sarja. Isoja toiminnallisia muutoksia oli huoltopalveluiden sekä osavalmistuksen sulauttaminen yhteisiin tuotantotiloihin. (Junttan Oy 2013.)



## 2.2 Toiminta ja tuotteet

Junttan Oy:n missio on tuottaa ja kehittää koneita ja palveluita, jotta asiakkaat voivat tehdä paalutustyönsä paremmin. Visio on olla maailman johtava paalutuskoneiden valmistaja ja asiakkaiden ensisijainen kumppani. (Junttan Oy 2013.)

Ympäristön huomioiminen on yksi Junttanin tärkeistä arvoista. Näissä asioissa Junttan haluaa olla edelläkävijä myös tulevaisuudessa. Jättemäärien pienentäminen sekä ympäristövaikutuksien vähentäminen ovat Junttanille tärkeitä asioita, joita myös edellytetään ympäristöluvassakin. (Junttan Oy 2013.)

Junttanin koneet ovat tunnettuja maailmalla erinomaisesta toimintavarmuudesta, laadusta, kuljettavuudesta sekä koneiden erinomaisesta tehokkuudesta ja tarkkuudesta. Lopputuloksena on kattava valikoima Junttan paalutuskoneita, joista jokainen täyttää nykyaikaisen laitevalmistuksen standardit ja direktiivit. (Junttan Oy 2013.)

Tänä päivänä Junttanin tuotevalikoimaan kuuluvat: lyöntipaalutuskoneet (kuva 1), stabilointikoneet, monikäyttöiset paalutuskoneet, hydraulijärkäleet, ExcaDrill-kaivukoneporalaitteet, hydrauliset voimayksiköt, kairat sekä näiden kaikkien lisävarusteet. (Junttan Oy 2013.)



KUVA 1. Lyöntipaalutuskone Junttan PMx20 (Junttan Oy 2013)

## 3 TÄRINÄ

Tärinä on kiinteän aineen värähtelyä. Kuvaavia suureita tärinälle ovat kiinteän massapisteen poikkeama, nopeus ja kiihtyvyys. Massapisteen poikkeamalla, amplitudilla tarkoitetaan tarkasteltavan värähtelykohdan poikkeamaa lepoasennossa. Nopeus on värähtelevän massapisteen heilahdusnopeus, eli poikkeaman muuttumisnopeus. Kiihtyvyys tarkoittaa nopeuden muutosnopeutta, eli massapisteen kiihtyvyyttä. (Rantanen & Pääkkönen 2008, 58.)

Tärinä syntyy käsiteltäessä maata dynaamisesti. Tärinän voimakkuus syntyy maahan siirretyn energian määrästä, maaperän ominaisuuksista ja tarkastelupisteen ja tärinänlähteen etäisyyksistä. Tärinä vaurioittaa ympäristössä olevia rakennuksia ja laitteita sekä häiritsee ihmisiä. Tärinän luonne vaihtelee tärinän aiheuttaman työn mukaan. Paalutustyö on matalataajuisia ja heilahdusnopeudet pieniä, kun louhintatärinä vastaavasti on taajuudeltaan suurempaa ja heilahdusnopeudet ovat suuremmat. Tärinä aiheuttaa vaurioita rakenteisiin yleensä siirtymäeroilla. Tärinän taajuus vaikuttaa siihen kuinka se vaikuttaa ympäristöön. (Laaksonen 2010, 2.)

Tärinän taajuus vaikuttaa tärinästä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Perinteisesti heilahdusnopeutta on käytetty tärinän vaurioalttiuden kriteerinä, koska sen mittaaminen on helpompaa kuin siirtymien tai kiihtyvyyden. Kun heilahdusnopeus on sama, matalataajuisen tärinän aiheuttamat siirtymät ovat suurempia kuin korkeataajuisen tärinän aiheuttamat siirtymät. (RIL 253-2010, 21.)

Tärinän voimakkuutta arvioidaan tärinän kiihtyvyydellä ( $\text{m/s}^2$ ) ja ominaisuutta taajuussisällöllä ja siitä kautta kokonaiskiihtyvyydellä. Tärinän vaikutuskohteen mukaan tärinä jaotellaan käsitärinäksi ja kehotärinäksi. Käsitärinällä tarkoitetaan tärinää, joka työntekijän käsiin tai käsivarsiin välittyessään aiheuttaa haittaa tai vaaraa hänen terveydelleen ja turvallisuudelleen. Kehotärinä on tärinää, joka alustan tai istuimen välityksellä kohdistuu koko vartaloon aiheuttaen haittaa tai vaaraa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Koko kehoon kohdistuvalle tärinälle voi altistua työkoneita ajettaessa. (Työterveyslaitos 2013.)

Ohjearvot tärinälle:

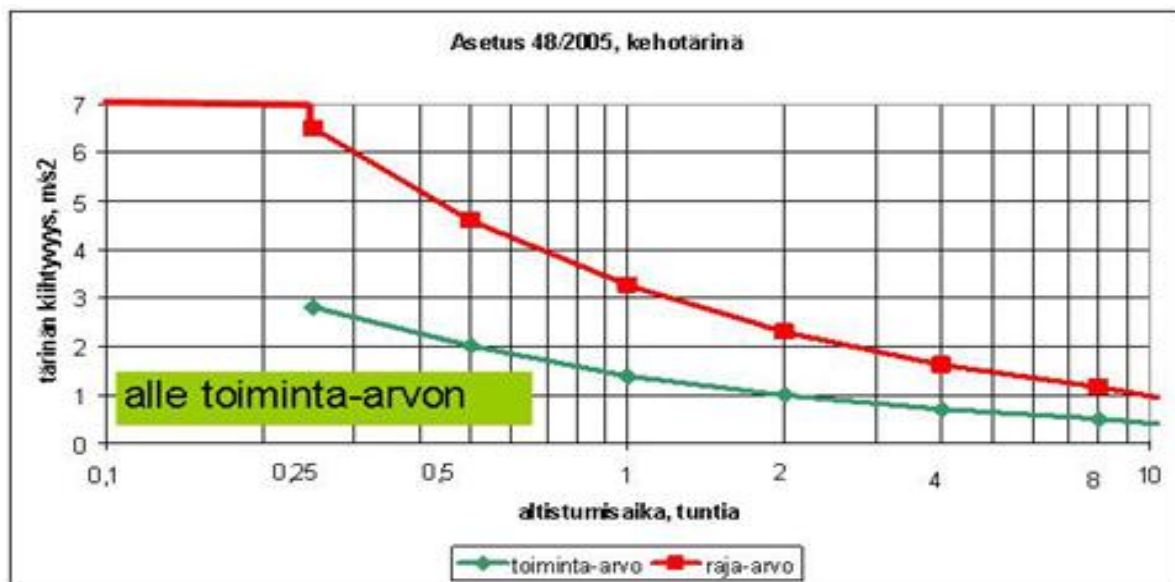
Tärinän kestolle ja nopeudelle on annettu raja-arvot ja toiminta-arvot Valtioneuvoston asetuksessa 48/2005. Arvot on määritetty 8 tunnin altistukselle alla olevan taulukon 1 mukaisesti.

(Työterveyslaitos 2013.)

TAULUKKO 1. Ohjearvot tärinälle (Työterveyslaitos 2013)

	Käsitärinä	Kehotärinä
Toiminta-arvo (8 tuntia)	2,5 $\text{m/s}^2$	0,5 $\text{m/s}^2$
Raja-arvo (8 tuntia)	5,0 $\text{m/s}^2$	1,15 $\text{m/s}^2$

Tärinäaltistuksen määrittäminen tapahtuu standardin ISO 2631-1 (1997) mukaisesti. Käytännön ohjeita annetaan standardissa EN 14253:2003+A1 (2007). Näiden mukaan kehotärinäaltistus määritetään mittaamalla koneen aiheuttama tärinäkiikkyvyys ja arvioimalla päivittäinen altistusaika ja laskemalla tulos annetulla kaavalla tehollisarvona. Alla olevasta kuviossa 1 on nähtävissä kehotärinän toiminta-arvo ja raja-arvo eripituisissa altistuksissa. (Työterveyslaitos 2013.)



KUVIO 1. Kehotärinän toiminta-arvo ja raja-arvo eripituisissa altistuksissa (Työterveyslaitos 2013)

Jos altistus ylittää toiminta-arvon, työnantajan on laadittava tärinäntorjuntaohjelma. Jos altistus ylittää raja-arvon, tulee ryhtyä välittömästi toimenpiteisiin altistuksen vähentämiseksi alle raja-arvon. Raja-arvon voi hetkellisesti ylittää, mikäli altistus vaihtelee huomattavasti työvaiheittain. (Työterveyslaitos 2013.)

### 3.1 Haittavaikutukset

Kehotärinälle altistutaan helposti maanrakennus-, maasto-, rakennus- ja maatalousajoneuvoissa, kaivosporakoneita käytettäessä sekä sotilasajoneuvoissa. Kehotärinä altistaa etenkin alaselän sairauksille ja selkärangan vammoille. Kehotärinä on erityisesti alaselän sairauksia tai selkärangan vammoja aiheuttava riskitekijä. Kehotärinälle altistumisen määrään vaikuttavat koneen tärinän kiikkyvyys ja koneella työskentelyyn kulunut aika sekä ajoalusta ja ajotapa. Suomessa n. 140 000 työntekijää kokee haitallista kehotärinää työssään. (Työterveyslaitos 2013.)

Kehotärinän tiedetään aiheuttavan alaselkäsärkyä, välilevytyriä ja selkärangan varhaista rappeutusta. Kehotärinä lisää mahdollisesti myös nivelrikon riskiä. Jatkuva kehoon kohdistuva tärinä ja heilunta aiheuttavat lievempiä oireita kuten liikesairautta, tasapainohäiriöitä ja tapaturmavaaroja. Koko kehon tärinä vaikuttaa haitallisesti myös niska- ja hartiasseudun lihaksiin ja lisäksi mahalaukun ja suolen toiminnan kiihtymiseen. (Työterveyslaitos 2013.)

Tärinä vaikuttaa myös rakennuksiin. Tärinän aiheuttamiin ongelmiin rakennuksissa vaikuttavat lisäksi aikaisempi kuormitushistoria sekä rakennuksien rakenteiden kunto. Tärkeitä tekijöitä ovat myös staattiset jännitykset, sekä se missä määrin jännitykset ovat kasvaneet lähtöarvoista painumien, kosteuden ja lämpövaihtelujen vuoksi. Huonossa kunnossa oleva rakenne vaurioituu helpommin, esimerkiksi tärinästä. Tärinän aiheuttamat vauriot rakenteissa johtuu yleensä rakenteiden siirtymäeroista. Tärinän taajuus vaikuttaa vaurioitumisalttiuteen. Mitä suurempi on taajuus, sitä pienemmät on siirtymät, kun heilahdusnopeus on vakio. (Mäntymäki 2007, 115.)

Tärinä voi haitallisesti vaikuttaa rakennusten lisäksi myös ympäristöön. Tärinä voi vahingoittaa tai tukkia esimerkiksi lähistön pohjaveden kulkeutumisreittejä, aiheuttaa maan sortumia sekä nostattaa pölyä. Lisäksi tärinä vaikuttaa häiritsevästi lintujen pesintään tai jopa karkottaa petolintujen tarvitseman pienriistan pois alueelta. Tärinän vaikutus ulottuu parista sadasta metristä muutamaan kilometriin lintulajista riippuen. (Opasnet.)

### 3.2 Säädökset

Tärinästä on säädetty sekä EU:n tasolla että Suomen lainsäädännössä. Euroopan Unionin tärinädirektiivissä (2002/44/EY) on määritelty tärinäaltistuksen toimintaraja ja altistusraja käsitärinän ja kehotärinän kiihtyvyydelle. Suomalaisia säädöksiä on määritelty valtioneuvoston asetuksissa: (Työterveyslaitos 2013.)

Valtioneuvoston asetus 48/2005 työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta asetus tuli voimaan (6.7.2005). Asetuksen tarkoituksena on työntekijöiden suojeleminen työssä esiintyviltä vaaroilta ja haitoilta, jotka aiheutuvat tai saattavat aiheutua altistumisesta tärinälle. Sitä sovelletaan työhön, johon sovelletaan työturvallisuuslakia ja jossa työntekijät altistuvat tai saattavat altistua työstä aiheutuvalle tärinälle. (Valtioneuvoksen asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta 1–2§.)

Valtioneuvoston asetus 400/2008 koneiden turvallisuudesta. Asetus tuli voimaan (29.12.2009). Asetuksessa säädetään koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvistä olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista sekä niiden vaatimuksenmukaisuuden osoittamisesta, markkinoille saattamisesta ja käyttöön otosta. (Valtioneuvoksen asetus koneiden turvallisuudesta 1§.)

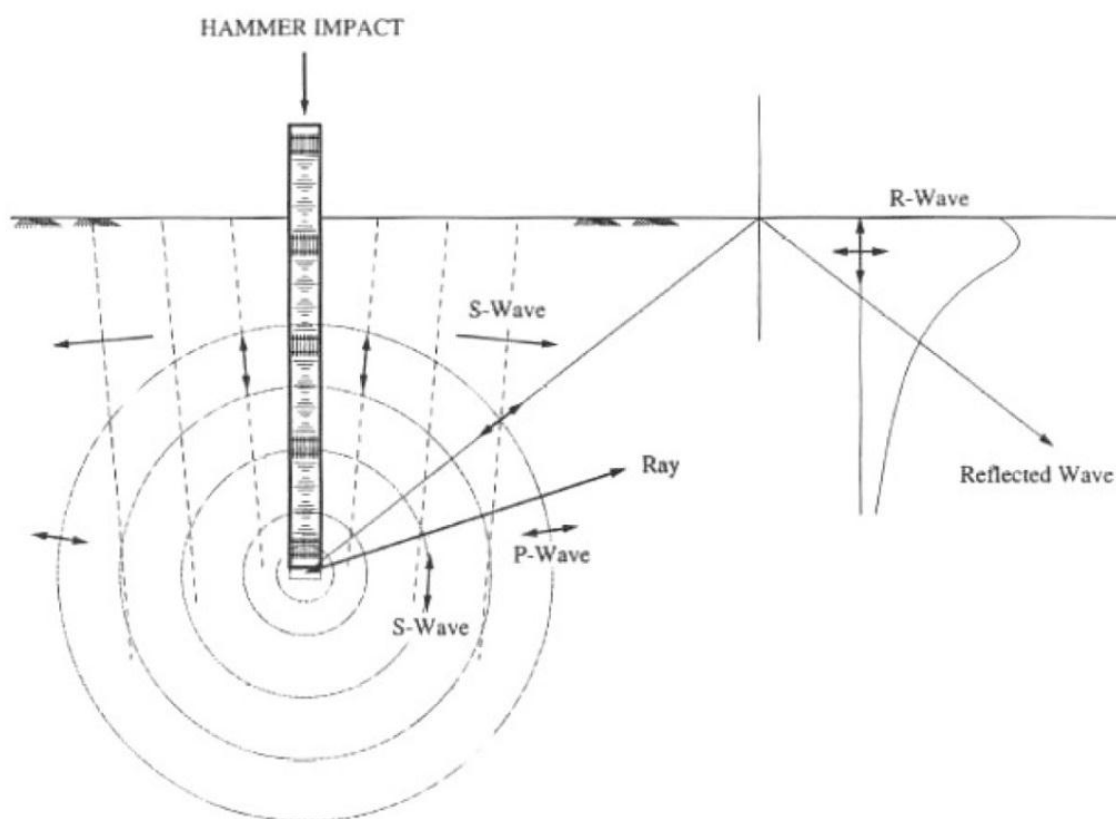
### 3.3 Tärinä paalutuksessa

Paalutusta voidaan tarvita jos maaperä ei ole valmiiksi riittävän kantava rakentamista varten. Rakennuspaikan perustamis- ja pohjaolosuhteet tutkitaan maaperätutkimuksessa. Tämän perusteella tehdään perustussuunnitelma, josta ilmenee kuinka paljon paalutusta tarvitaan esimerkiksi talon rakentamiseen, jotta se olisi tukevasti paikoillaan ja kestäisi vuosikymmenten rasitukset. Lyöntipaalut on paalutuksen perusratkaisu, jossa paalutuskone asentaa lyömällä teräsbetonisen paalun maahan perustussuunnitelmassa määriteltyyn syvyyteen. Teräsbetonipaalut sopivat lähes kaikkien rakennus-

tyyppien paalutusratkaisuiksi, mutta niiden ongelma on paalutuksesta aiheutuva värinä. (Rytmirakennus 2013.)

Paalujen asennusmenetelmistä paalun lyönti aiheuttaa suurimmat värinät. Lyönti järkäleellä on iskumaista, hydraulivasaralla jaksollisesti iskumaista. Suurin värinä syntyy paalun kärjestä. Paalun sivuvastuksella on merkitystä tiiviissä maassa värinän syntyyn. Myös paalun vaakasuuntainen heiluminen aiheuttaa värinää. Etäisyys, johon värinän alue ulottuu, on noin 50–100 % paalupituudesta. Tällä alueella värinän taajuus on noin 5–40 Hz. Kauempana taajuus on tyypillisesti 5–20 Hz. (RIL 253-2010, 43.)

Paalutuksesta aiheutuva värinä on yhdistelmä erilaisia aaltotyyppejä joita on vaikea erottaa toisistaan. Värinä on siis eri aaltotyyppien ja niiden heijastusten sekä taittumisien yhdessä vaikuttama maanliike. Värinän suuruus, vaimeneminen ja eteneminen riippuvat maaperäominaisuuksista, värinän lähteestä sekä sen sijainnista, jotka puolestaan vaikuttavat syntyvän värinän laajuuteen ja aaltotyypeihin. Kuvassa 2 on havainnointu paalutuksessa syntyvän värinän aaltotyyppejä. (Leppänen 2008, 32.)



KUVA 2. Paalutuksesta aiheutuvan värinän aaltotyyppejä (Leppänen, 35)

Lyöntipaalutuksessa käytettävät järkäleet jaetaan mekaanisiin ja hydraulisiin järkäleisiin. Mekaaninen järkäle nostetaan vinssillä vaijerin varassa haluttuun korkeuteen, ja pudotetaan paalun päällä olevaan iskutyynyyn. Pudotusjärkäleen tyypillinen iskuluku on 30–60 iskua minuutissa. Hydraulisen järkäleen nosto tapahtuu hydraulisella sylinterillä, jonka jälkeen järkäle pudotetaan joko vapaasti tai kiihdytettyä. Hydraulisen järkäleen iskuluku vaihtelee 30–150 iskua / minuutti. Lyöntipaalutuslait-

teiksi määritellään lisäksi paineilma- ja hydraulivasarat. Paineilmavasaran iskuluku on 200–500 iskua minuutissa, Hydraulivasaran iskuluku on 400–900 iskua minuutissa. (Leppänen 2008, 32–33.)

Lyöntipaalutuksessa paaluun siirtyvä energia kulkeutuu paaluna pitkin paalun kärkeen. Paaluun tunkeutuminen tapahtuu, kun iskun aiheuttama alaspäin suuntautuva sykäys voittaa paalun hitausvoimat, sekä maaperän paaluun tunkeutumista vastaavat voimat. Iskun energia ei kokonaan auta paalun tunkeutumista, vaan osa hukkuu paalutuskoneen ja paalun rajapinnassa. Osa iskuenergiasta muuttaa muotoaan ympäröivän maan tärinäksi. Yksinkertaisesti voidaan sanoa, että paalutuksen maaperään aiheuttama tärinä syntyy paalun vaippavastuksen ja paalun kärkivastuksen vaikutuksesta. (Leppänen 2008, 34–35.)

Maaperän ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus syntyvään tärinään. Paalua lyödessä maahan, kuluu suurin osa energiasta maan muodonmuutoksiin ja paalun tunkeutumisen edistämiseen, eikä maaperän tärinään. Tunkeutumisen ollessa pienempää tiiviissä maassa, on kimmoisten muodonmuutosten osuus suurempi. Myös maan hitausvoimat vastustavat muutoksia, mikä aiheuttaa myös tärinää. Mikäli pudotusenergia on liian pieni, tunkeutumista ei tapahdu lainkaan, jolloin energia siirtyy tärinän muodossa ympäristöön. (Leppänen 2008, 35.)

Ääni on fysikaalinen ilmiö, joka on pitkittäistä aaltoliikettä ilmassa. Ääni jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevänä on melua. Kuulolle haitallista melua esiintyy tyypillisesti tuotannossa, jossa käytetään erilaisia koneita ja laitteita. Haitallisinta kuulolle on impulssimelu, jota syntyy esimerkiksi työkaluista. (Työturvallisuuskeskus 2013; Aaltonen 2010, 8.)

Ääni voi edetä nesteessä, ilmassa ja kiinteässä aineessa. Se on olemassa vain välittäjäaineessa. Tämän vuoksi se erottuu sähkömagneettisista aalloista ja säteilystä. Ilmassa kulkeva ääni mitataan Pascaleina (Pa). Paineen vaihtelun määrä määritellään taajuutena ja mitataan Hertseinä (Hz). Nopeus riippuu välittäjäaineesta. Ilmassa nopeus on noin 340 m/s, ja se riippuu lämpötilasta ja paineesta. Vedessä nopeus on noin 1 500 m/s ja teräksessä 6 000 m/s. (Rantanen, Pääkkönen 2008, 42.)

Melutyyppejä ovat:

- Impulssi- eli iskumelu on melua, joka on äkillistä ja sisältää runsaasti lyhyitä, alle sekunnin kestäviä iskumaisia, voimakkaita ääniä. Tällaisen melun synty voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: kappaleiden iskeytyminen, kaasun laajeneminen ja sähkönpurkaukset.
- Infra- ja ultraäänit ovat ääniä, joita ei pysty korvin kuulemaan. Infraäänellä tarkoitetaan ääntä, jonka taajuus on alle 20 hertsiä. Ultraäänin taajuus on vastaavasti yli 20 000 hertsiä. Infraääntä aiheuttaa muun muassa ilmastointi- ja kompressorilaitteet, ultraääntä käytetään esimerkiksi muovin hitsauksessa ja metallin puhdistamisessa. (Työturvallisuuskeskus 2013.)

Äänen mittaamiseen käytetään melumittaria, jolla saadaan tulos desibeleillä. Desibeliasteikko on logaritminen, joka tarkoittaa sitä että 10 desibelin kohdalla ääni on kymmenkertaistunut nollakohtaan verrattuna, 20 desibelin kohdalla satakertaistunut ja 30 desibelin kohdalla tuhatkertaistunut. (Aaltonen 2010, 9.)

Päivittäinen melualtistus ei saa ylittää 85 desibeliä. Impulssimelualtistuksen raja-arvo 200 Pascalia, mikä vastaa melumittarin lukemaa 140 desibeliä. Noin 480 000 työntekijää altistuu tämän alemman toiminta-arvon ylittävälle melulle. Ylempi toiminta-arvo melualtistukselle on 85 dB (A), jonka ylittävälle melulle altistuu n. 190 000 henkilöä. Suurimmat melulle altistuvat ammattiryhmät ovat kirvesmiehet, moottoriajoneuvojen ja työkonien asentajat ja korjaajat, paperin ja kartongin valmistajat ja rakennusmiehet. Jos meluarvot ylittyvät, työnantajan on selvitettävä syyt rajojen ylittymiseen ja laadittava meluntorjuntaohjelma. Meluntorjuntaohjelmassa esitetään toimet melualtistuksen vähentämiseksi. Työnantajan on opastettava työntekijöitä melusta, hankittava työntekijöiden käyttöön kuulonsuojaimia, asetettava melualueille asianmukaiset merkinnät ja tutkittava säännöllisesti melulle altistuvien työntekijöiden kuuloa. (Työturvallisuuskeskus, Työturvallisuuslaitos 2013.)



#### 4.1 Melun haittavaikutukset

Melu on merkittävä ammattitauteja aiheuttava altiste ja sen vaikutuksia ihmisen terveyteen arvioidaan voimakkuuden ja energiasisällön perusteella. Yksilöllinen herkkyys melulle vaihtelee, ja joillekin henkilöille voi kuulon heikkenemistä aiheuttaa jo noin 75 dB (A) melu. Meluhaitat ilmenevät useimmiten unihäiriöinä, lepoon sekä keskittymiseen ja oppimiseen liittyvänä vaikeutumisena. Melu vähentää ja heikentää elinympäristön viihtyisyyttä ja laatua erityisesti asumiseen käytettävillä alueilla sekä loma- ja virkistysalueilla. Melu vaikuttaa myös eläimiin, kuten lintujen lajikäyttäytymiseen ja muuhun luontoon maankäyttöä rajoittamalla. Pitkäaikainen melu voi aiheuttaa parantumattomia vaurioita sisäkorvaan ja heikentää kuuloa pysyvästi. Melu voi myös estää korvaa aistimasta muita äänimerkkejä kuten varoitusääniä, jolloin tapaturmavaara kasvaa. (Työturvallisuuskeskus, Saarinen 2013.)

Jos melu on tilapäistä, yleensä kuulo palautuu ennalleen. Jatkuva yli 90 desibelin meluallistus aiheuttaa lähes poikkeuksetta pysyvän kuulovaurion. Meluvamman syntyyn vaikuttavat melun voimakkuus, altistusaika, äänienergian jakautuminen eri taajuuksille, melun laatu ja ihmisen yksilöllinen herkkyys. Kuulon heikkenemisen lisäksi vaarana on tinnitus, eli korvassa tai päässä kuuluva soiva, humiseva, suhiseva tai naputtava ääni. Alla olevassa kuviossa 2 esitellään melun aiheuttamia haittoja. (Työturvallisuuskeskus 2013.)



KUVIO 2. Melun aiheuttamia haittoja (kuva: Esko Toppila, työturvallisuuslaitos 2013)

#### 4.2 Säädökset

Valtioneuvoston antoi vuonna 2006 periaatepäätöksen meluntorjunnasta, jonka tavoitteena on saada ympäristön melutasot ja melulle altistuminen merkittävästi alenemaan. Meluntorjunta on osa ympäristön pilaantumisen torjuntaa. Keskeiset tavoitteet ja välineet on esitetty ympäristönsuojelulaissa ja asetuksessa (86/2000 ja 169/2000), jossa tavoitteena on minimoida melun terveydelle aiheuttamat haittavaikutukset ja edistää elinympäristön viihtyisyyttä. (Mattsson, 2013.)



Ympäristönsuojelulain muutoksella (459/2004) ja valtioneuvoston asetuksella (801/2004) on pantu täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY (ympäristömeludirektiivi), liisäämällä lakiin meluselvitykset ja meluntorjunnan toimitasuunnitelmat sekä tarkentamalla asetuksella niiden laatimiseen liittyviä toimenpiteitä. (Mattsson, 2013.)

Meludirektiivin (2003/10/EY) määräykset on julkaistu Valtioneuvoston asetuksessa 85/2006. Asetuksessa määrätään työnantajalle selvilläölovelvoite. Työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen melulle altistuminen, sekä mitattava tarvittaessa työntekijän melulle altistuminen. Lainsäädännössä on säädetty melulle kolmiportainen toimenpideluokitus. Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 mukaiset melun raja-arvot ovat ilmoitettu alla olevassa taulukossa 2 kahdeksan tunnin altistuksena sekä impulssimelun huippuarvoina. (Työturvallisuuslaitos 2013.)

TAULUKKO 2. Melun raja-arvot (Työturvallisuuslaitos 2013)

	LAeq8h	LCpeak,max	Huom.
Alempi toiminta-arvo	80 dB (A)	135 dB (C)	(kuulosuojainten päältä)
Ylempi toiminta-arvo	85 dB (A)	137 dB (C)	(kuulosuojainten päältä)
Raja-arvo	87 dB (A)	140 dB (C)	(kuulosuojaimen sisällä)

#### 4.3 Melu paalutuksessa

Ääniaallon kohdatessa rakenteen, synnyttää se rakenteeseen värähtelyä. Mitä voimakkaammin rakenne värähtelee, sitä enemmän synnyttää se ääniaaltoja rakenteen toiselle puolelle. Raskas rakenne eristää enemmän ääntä, mitä kutsutaan massalaiksi. Myös taajuus vaikuttaa äänen eristyvyyteen. Rakenteet eristävät paremmin korkeita, kuin matalia ääniä. (Mikkola 2011, 14–15.)

Paalujen asennus aiheuttaa aina melua rakennuspaikoilla. Paalutuksessa ääni tulee, kun suurpaalut asennetaan lyömällä yläpäästä tai lyömällä paalua pohjaan. Paalutyypin, asennusmenetelmän sekä kaluston valinnalla on mahdollista vaikuttaa melun syntymiseen. Puristuspaalut aiheuttavat yleensä vähäisimmän melun. Melutasoa voidaan pienentää melulähteen eristämällä, sekä lyöntipaaluilla sopivan iskutyynyn jousto-osan valinnalla. (Geotekniikka, Paalutusohje 2011, 185–186, 189.)

Paalutuksesta aiheutuvan melutason määrittämiseen ei ole käytettävissä laskumenetelmiä. Melutason ylärajoissa noudatetaan viranomaisten antamia rajoituksia. Tiloissa, joissa oleskelee työmaalle kuulumattomia henkilöitä, melutaso ei saa ylittää 80 dB. Erilaisten paalutuslaitteiden aiheuttama melu on kuvattu alla olevassa taulukossa 3. (Siuko 2009, 27; Paalutusohje 2011, 185–186, 189.)

Taulukko 3. Erilaisten paalutuslaitteiden aiheuttama melu. (Siuko 2009, 27)

Paalutuslaite	Melutaso 10m etäisyydellä (dB)	Etäisyys, jolla melu on 80 dB
Pudotusjärkele	90–100	40–160m
Täryjuntta	90–100	40–160m
Diesel- tai hydraulijärkele	100–105	160–320m
Franki- Paalutuskone	80–90	10–40m

## 5 HYDRAULIJÄRKÄLEEN KOEAJO

Junttan Oy:llä paalutuskoneita ja hydraulisia irtojärkäleitä testataan kuvassa 3 olevalla koeajopaikalla. Testauksella varmistetaan tuotteiden korkea laatu sekä toimintavarmuus.



KUVA 3. Junttan Oy:n koeajopaikka (Laurila 2013)

### 5.1 Hydraulijärkäleet

Hydraulisten järkäleiden kehityksessä ja valmistuksessa Junttan on edelläkävijä maailmassa. Niiden kehittämisessä on hyödynnetty korkeaa teknologiaa ja huippuluokan asiantuntemusta. Kuvassa 4 on SHK-sarjan järkäle, joissa tuottavuutta on lisätty entisestään ja samalla ympäristövaikutuksia vähennetty. Junttan järkäleet ovat maailman parhaita erinomaisen suorituskyvyn, monipuolisuuden sekä ympäristöystävällisyytensä vuoksi. (Junttan Oy 2013.)



KUVA 4. SHK-sarjan järkäle (Junttan Oy 2013)

Junttan järkäleissä on järkäleen koon mukaan 3 000–28 000 kg painava liikkuva osa, joka nostetaan hydraulisesti. Noston jälkeen liikkuva osa vapautetaan ja liikettä kiihdytetään hydraulisesti. Pudotus-

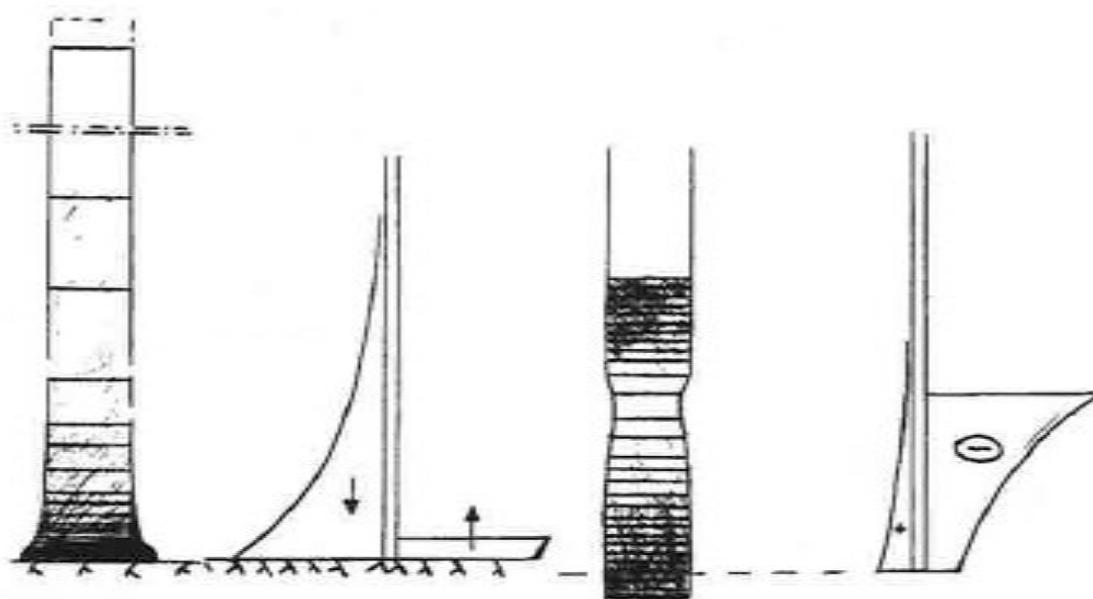
korkeus järkäleen mallista riippuen on jopa 1,5 metriä ja se on erittäin tarkasti säädettävissä. Junttan järkäleissä on noin 20 % enemmän tehoa kuin vastaavissa vapaasti pudotettavissa järkäleissä. (Junttan Oy 2013.)

Koeajettavien järkäleiden maksimienergiat ovat 35 kNm–450 kNm, mikä aiheuttaa haasteen järkäleiden testaukselle. Työmaaolosuhteissa jopa 97 % järkäleen energiasta saadaan todistettavasti siirtymään paaluun, ja sitä kautta paalun etenemiseen. Koeajossa paalun etenemistä ei ole pystytty tähän asti toteuttamaan, minkä vuoksi järkäle ei käyttyä aivan samalla tavalla koeajossa kuin työmaaolosuhteissa. (Junttan Oy 2013.)

## 5.2 Iskuaallon heijastuminen koeajopaalusta

Teräksiseen koeajopaaluun lyöäessä, iskuaalto lähtee etenemään paalussa noin 5 100 m/s. Paalu on silloin kokoon puristettu, mutta ei tasaisesti koko pituudeltaan. Paalun saama energia iskusta on puristumavyöhykkeessä. Kun puristusaalto tulee paalun pohjaan, se yrittää jatkaa etenemistään. Paalun ollessa kiinni kalliassa, tapahtuu heijastuminen, jolloin sama puristusaalto kääntyy syöksymään ylöspäin (kuva 5). Heijastumishetkellä paalun alapään jännitys ja puristuma käy lähes kaksinkertaisena. (Jääskeläinen 2009, 67–68.)

Mikäli maapohja vastaisi jäykkyydeltään paalua, pohjamaa ottaisi iskun vastaan ilman heijastumisten syntymistä. Jos maa-aines on niin pehmeää että se antaa periksi ottamaan vastaan paalusta tulevaa energiaa, niin tästä syntyvä energia vetää paalun vetoaalttoon, joka lähtee syöksymään ylöspäin (kuva 5). Tästä syntyvä vetojännitys olisi yhtä suuri kuin yläpäässä vaikuttanut noin 0.75-kertainen puristusjännitys. Yhteenvetona voidaan siis todeta että, kun painuma pienenee ja maanpohjasta heijastuva puristusaalto kasvaa, jännitys paalun alapäässä alkaa nousta kohti kaksinkertaista yläpään maksimijännitystä. (Jääskeläinen 2009, 68.)



KUVA 5. Iskuaallon heijastuminen kalliosta sekä veteliköstä (Jääskeläinen 2009, 68)

### 5.3 Junttan Oy:tä koskevat viranomaismääräykset koeajossa

Junttan Oy on hakenut ympäristölautakunnalta luvan paalutuslaitteiden koeajoon 5.8.2008. Koepaalu-  
lutuspaikoilla saa paaluttaa ma-pe 7.30–20.00 ja lauantaisin 10–18.00. Sunnuntaisin ja arkipyhinä  
koepaalu-  
tusta ei saa tehdä. Syynä päätökseen on ympäristöön aiheutuva iskumainen melu, mikä voi  
olla häiritsevää. (Junttan ympäristölupa.)

Ympäröivien asuinkiinteistöjen piha-alueille ei saa aiheutua yli 65 dB ja 1.1.2014 jälkeen 60 dB ääniä  
koepaalu-  
lutuksesta. Mittauksissa tuntikohtainen keskitasoääni saa ylittää 10 % ajasta ilman, että raja-  
arvojen tulkitaan ylittyneen. Yli 10 dB ylityksiä ei kuitenkaan sallita. (Junttan ympäristölupa)

Määräyksellä on annettu paalutusmelulle tuntikohtaista keskiäänitasoa koskevat raja-arvot, koska  
sen valvonta on helpompaa kuin koko päiväajalle määritellyn keskiäänitasonvalvonta. Koska paalu-  
tusmelu on häiritsevää, sisältyy määräykseen tavoite alentaa melutasoja 5 dB vuoteen 2014 men-  
nessä. (Junttan ympäristölupa.)

Melutasoja sekä tärinäarvoja tulee seurata vuosittaisin mittauksin ympäröivillä asuinalueilla. Mittauk-  
sia pitää tehdä seitsemänä päivänä kalenterivuoden aikana. Mittausten tulee täyttää ympäristöme-  
lunmittausta koskevat ympäristöministeriön ohjeet (ohje 1/1995). Mittausten tekijällä tulee olla riit-  
tävä kokemus ja asiantuntemus melumittauksista ja mittauksia koskeva yksityiskohtainen suunnitel-  
ma tulee esittää Kuopion kaupungin ympäristökeskuksen hyväksyttäväksi ennen mittausten aloitta-  
mista. Koepaalu-  
tusten aiheuttaman tärinän heilahdusarvoa on mitattava vuosina 2009–2011 vähin-  
tään kahdella ympärillä olevalla kiinteistöllä. (Junttan ympäristölupa.)

### 5.4 Koepaalu- tus Kelloniemessä

Ennen vuotta 1999 Junttan Oy:n toimipiste sekä ensimmäinen varsinainen järkäleen koeajopaikka oli  
Kuopion Kelloniemessä sijainneen hallin takapihalla. Koeajopaalu-  
na käytettiin noin 10 metriä pitkää  
300 mm teräsakselia, joka asennettiin paaluttamalla suoraan maahan. Koeajopaalu-  
a käytettäessä  
akseli lähti kallistumaan hyvin voimakkaasti. Välillä akseli nostettiin ylös isolla koneella ja asennettiin  
parin metrin päähän uudestaan. Maaperä oli koeajopaikalla moreenia. (Huovinen 2013-9-16.)

Tarkoitus oli testata pitkän hoikan teräsakselin käyttäytymistä samanlaisia olosuhteita kuin Kellonie-  
messä, mutta pienoismallilla, jotta pystyin vertaamaan sen toimintaa omiin ratkaisuihini. Kokeessa  
käytin Ø 25-590 mm akselia, jonka paalutin moreenin läpi kallioon. Akseli upposi 5 kg:n järkäleellä  
erittäin hyvin, ja energia kului paalun etenemiseen. Kallion saavutettuaan 400 mm jälkeen, akseli  
rupesi pomppimaan, ja iskuaalto heijastui takaisin järkäleeseen. Testin jatkuessa akseli rupesi kallis-  
tumaan, kuten oli käynyt Kelloniemessäkin.

Alla ollut kallionpinta oli hieman kallellaan, jonka suuntaisesti akseli kallistui. Kuvassa 6 on Kelloniemen koeajopaikka.



KUVA 6. Kelloniemen koeajopaikka. (Junttan 1998)

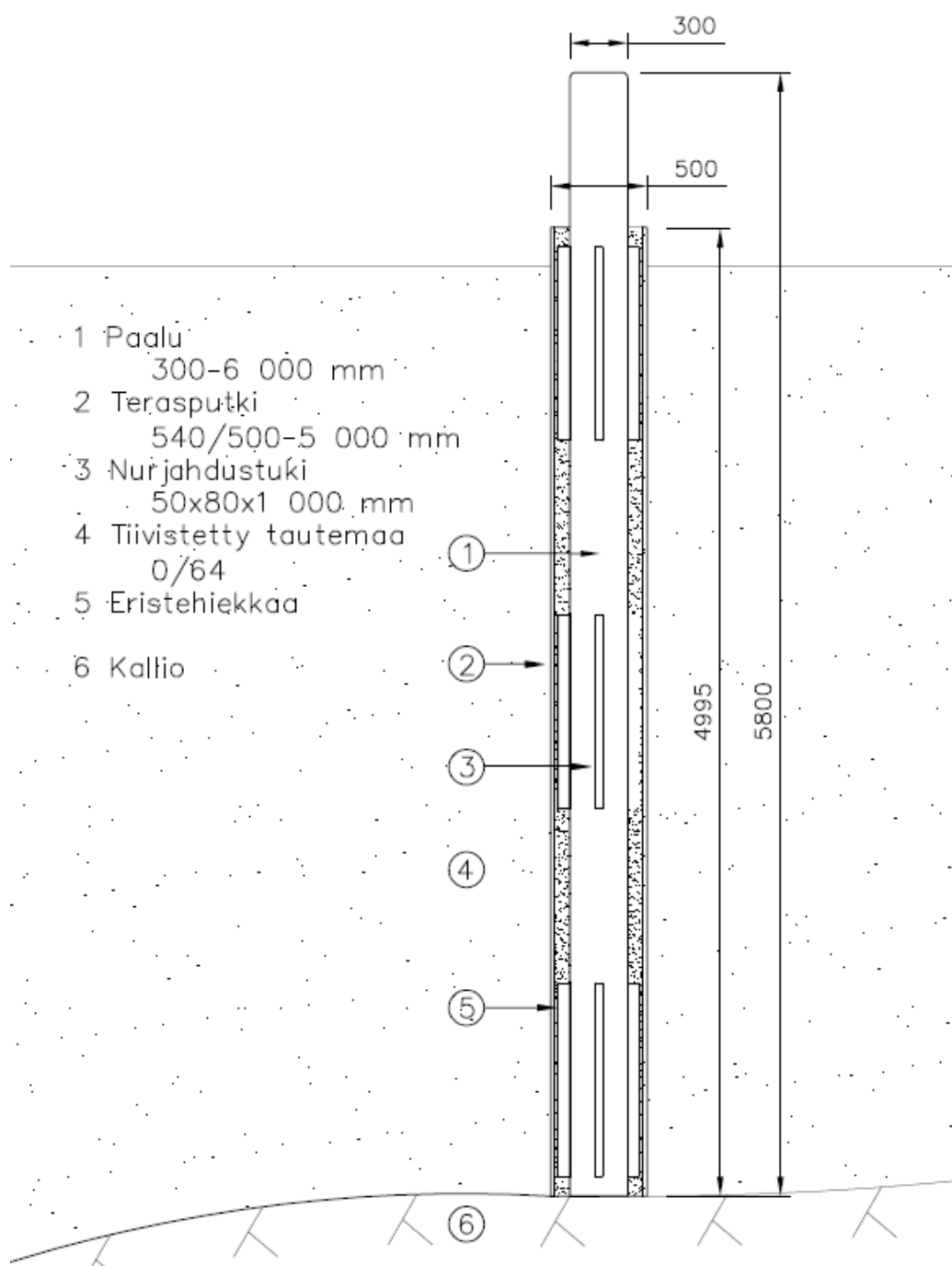
Tässä testissä mitatut melutasot on laskettu kolmen suurimman mittaustuloksen aritmeettisena keskiarvona käytettäessä 5 kg:n vapaapudotusjärkälettä yhden metrin iskulla. Äänitehotasot mittasin ilman pehmikettä ja tulokseksi sain 131 dB (A).

## 5.5 Koepaalutus Särkiniemessä

1999–2008 Junttan Oy:n tehdas sijaitsi Kuopion Särkiniemessä. Koeajopaikan sijainti ei ollut hyvä, koska se sijaitsi omakotitaloalueen vieressä Särkilahden rannassa. Alueelle oli suunniteltu erilaisien koneiden testauspaikkoja, jotka olivat erittäin kuormitettuja suurten tuotantomäärien vuoksi.

Ensimmäistä kertaa lyöntikoneiden ja pienien järkäleiden koepaaluus tehtiin niitä varten valmistettuihin koeajopaaluihin. Testipaaluna käytettiin Ø 300-6 000 mm teräsakselia, joka oli asennettu hiekalla täytettyyn Ø 540/500-5 000 mm teräsputkeen. (540 mm putken ulkomitta, 500 mm sisämitta ja 5 000 mm on pituus). Putki oli asennettu kallioon asti kaivettuun kaivantoon mikä oli tiivistetty huolellisesti täytettäessä. Isoimmat järkäleet puolestaan testattiin maan pinnassa olleeseen teräslevyyn, jonka koko oli 2 000x2 000x100 mm. (Huovinen 2013-9-16)

Koepaalun toimintaperiaatteena oli muuttaa osa energiasta lämmöksi akselin, hiekan ja putken kitkalla, sekä siirtää osa energiasta ympäröivään maaperään ja kallioon. Kuvassa 7 on luonnos koeajopaalusta. (Huovinen 2013-9-16.)



KUVA 7. Luonnoskuva ja pienoismalli koeajopaalusta (Laurila 2013)



Tämä ratkaisu toimi pienillä järkäleillä, vaikka etenemää ei ollutkaan, mutta isoja järkäleitä se ei kestänyt. Tämän koeajopaalun rakenteellisina heikkouksina oli suojaputken nouseminen, akselin väsyminen ja vääntyminen sekä akselin huomattavan suuri hinta. Toiminnallinen ongelma oli iskuaallon heijastuminen kalliosta, paalun etenemisen puuttuminen, sekä heikkous isoilla järkäleillä lyödessä. Koepaalia ei pystynyt kunnolla nostamaan enää suojaputkesta pois, kun se oli vaurioitunut, vaan käytännössä ratkaisu oli uuden lyöntipaikan tekeminen.

Testasin koelyöntipaikkaa 5 kg:n järkäleellä erimittaisilla iskuilla. Kokeessa käytin paalia Ø 30-350 mm teräsakselia, jonka asensin hiekalla täytettyyn Ø 75/70-285 mm teräsputkeen. Vanhojen koelyöntipaikkojen pienoismallikokeilla saa hyvän kuvan siitä mitä eroja on pienoismallilla ja täysikokoisella koelyöntipaikalla.

Testissä kalliota vasten oleva akseli alkoi pomppia ja iskuaalto heijastui takaisin järkäleeseen. Hiekka ei antanut käytännössä mitään vastusta kiiltävälle akselille, vaan ainoa hyöty oli sen antama sivuttaistuki ja lievä vaimennus akselin soimiselle. Testin jatkuessa suojaputki nousi kuten täysikokoisessa koelyöntipaikassa. Alla ollut kallioon pinta oli hieman kallellaan, jonka suuntaisesti testipaaluakin hieman kallistui.

Uusin kokeen ilman hiekkaa, ja tulos oli jopa hieman parempi. Melua oli 1 dB enemmän sekä akseli pomppi hieman enemmän, mutta nyt suojaputki pysyi paikoillaan. Suurin ongelma, molemmissa testaamissani pienoismalleissa oli iskuaallon lähes täydellinen heijastuminen kalliosta.

## 5.6 Koepaalutus Kylmämässä

Vuona 2008 Junttan Oy:n Kuopion Kylmämäkeen valmistuneiden uusien tuotantotilojen rakentamisen yhteydessä rakennettiin kaksi vastaavanlaista koeajopaikkaa kuin Särkilahdessa oli. Parannuksena edellisiin heikkoihin koepaaluhihin oli akselin ja suojaputken kasvattaminen sekä lyhentäminen. Parannuksista huolimatta koelyöntipaikat olivat käyttökelvottomia keväällä 2013.

Näillä koelyöntipaikalla tehtiin vuosina 2008–2012 ympäristöluvan vaatimat melunmittaukset. Tulokset olen kerännyt alla olevaan taulukkoon 4.

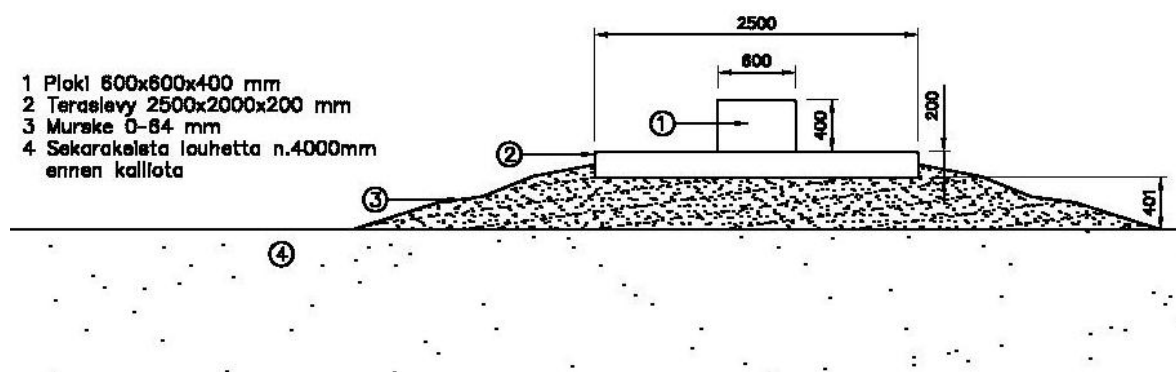
TAULUKKO 4. Ympäristöluvan vaatimien mittauksien tulokset (Junttan 2013)

Päivämäärä	Järkäle	Tulos	Impulssikorjattu	Sää
09.11.2010	25 000 kg	69,5 dB	64 dB	pilvipouta (-4°C)
14.10.2011	20 000 kg	60.1 dB	60 dB	pilvipouta (+4°C)
02.01.2012	4 000 kg	63.0 dB	49 dB	pouta (-2,4°C)
25.06.2012	20 000 kg	53,3 dB	55 dB	pilvipouta (14°C)

## 5.7 Koepaalutus Kylmämässä 2013-

Tällä hetkellä hydraulijärkäleet testataan koelyöntipaikalla, jossa järkäleen energia lyödään 1 000 kg:n teräksisen plokkin kautta maata vasten olevaan teräslevyyn joka välittää energian maahan. Levyn koko on 2 500x2 000x200 mm ja se painaa noin 7 900 kg. Levyn alla on seuraavanlaiset rakenteet: 400 mm mursketta, 200 mm karkeaa mursketta, 4 000 mm sekarakeista louhetta, jonka alla viettävä kallio.

Tämä ratkaisu toimii kohtalaisen hyvin niin pienillä kuin suurillakin järkäleillä, vaikka etenemää ei olekaan. Toimintaperiaate on siirtää energia ympäröivään maaperään tiivistämällä ja muokkaamalla sitä, mutta kivi kovaksi tiivistyneessä maassa energia muuttuu lähinnä tärinäksi. Tällä koelyöntipaikalla ei ole suuria rakenteellisia heikkouksia, vaikka iso levy vääntyykin ajan saatossa. Toiminnallinen ongelma on levyn kallistuminen koelyöntisarjojen aikana sekä täysin tiivistyneestä maaperästä johtuva joustamattomuus. Kallistuminen johtuu neljän metrin syvyydessä olevan kallion muodosta. Levyn asentoa joutuu korjaamaan tasoittamalla ja lisäämällä mursketta. Lähiympäristöä kuormittaa voimakas tärinä, sekä lisääntynyt terävä melu koeajopaikalla. Kuvassa 8 on luonnospiirustus tällä hetkellä käytössä olevasta koelyöntilevystä.



KUVA 8. Luonnoskuva käytössä olevasta koeajolevystä (Laurila 2013)

Vaikka koelyöntipaikalla havaittavat haitat ovat hieman lisääntyneet, niin melutaso on kuitenkin hieman laskenut ympäristöluvan vaatimissa mittauksissa. Keväällä 2013 tehtiin uudet ja viimeisimmät melumittaukset koepaalutuspaikalla. Mittaus suoritettiin ympäristöministeriön vaatimusten mukaisesti. Mittausetäisyys oli noin 500 metriä kohteesta ja 1,5 metriä maanpinnasta. Alla olevassa taulukossa 5 on tulokset vanhaan koeajopaaluun, sekä tällä hetkellä käytössä olevaan koeajolevyn tehdyn koepaalutuksen tulokset. (Junttan 2013.)

TAULUKKO 5. Mittaustulokset koepaalutuspaikoilta (Junttan 2013)

Päivämäärä	Järkäle	Tulos	Impulssikorjattu	Sää
25.6.2012	20 000 kg	53,3 dB	55 dB (A)	pilvipouta (+14°C)
25.5.2013	20 000 kg	51,9 dB	48 dB (A)	pilvipouta (+13°C)





Akseliin ei saa kiinnittää nurjahdustukia, vaan ne pitää asentaa putken sisälle, tai kiinnittää suoja-putkeen. Tällöin ne eivät joudu akselissa kulkevan iskuaallon rasitukselle. Akselin pituutta pystyy myös lyhentämään, koska se ei mene enää kallioon asti vaan toimii tavallaan kuten ns. plokki Franki-paalussa.

Suojaputki nousi vanhassa mallissa, koska putki oli avoin päästä ja akseli oli kalliossa kiinni. Lyödessä akseli puristuu kokoon ja iskuaallon heijastuessa kallioista takaisin, akselin kitka työntää putkea ylöspäin. Tämän ongelman ratkaisee akselin sijoittaminen tulpattuun suoja-putkeen, alapään valu, sekä kaulus suoja-putken yläpäässä. Tärkeimpänä tekijänä on kuitenkin tulpatun suoja-putken pyrkimys etenemiseen jokaisessa iskusta, jolloin putken nousemista ei pääse tapahtumaan. Suoja-putkeen hitsattava kaulus ottaa yläpuolellaan olevat täytemaat vastapainoiksi 30 asteen kulmassa, joka vähentää hieman suoja-putken pomppimista sekä auttaa suoja-putken paikallaan pysymistä akselia pois nostettaessa.

Joustavalla pehmikkeellä saa aikaan akselin liikettä suoja-putken sisällä, joka lisää hieman kitkaa hienolla hiekalla täytetyssä putkessa. Toinen tärkeä tehtävä pehmikkeellä on vaimentaa terävät iskut jotka rikkoisivat paalun pään.

Testasin tämän koelyöntipaikan käyttäytymistä 5 kg:n järkäleellä ja 1:10 pienoismalleilla. Pienois-mallissa käytin paaluna Ø 30-350 mm akselia Ø 65 mm männällä sekä ilman. Akseli oli asennettu hiekalla täytettyyn Ø 75/70-285 mm teräsputkeen, jonka pohja oli tulpattu teräslevyllä. Putken pohjalla oli 20 mm kumia vaimentamassa teräviltä iskuilta sekä antamassa joustoa.

Kokeessa sileä akselia akseli pomppi rauhallisesti, eikä iskuaalto heijastunut terävänä takaisin järkäleeseen kuten alkuperäisessä. Hiekka ei kuitenkaan antanut oikeastaan mitään vastusta kiiltävälle akselille, vaan ainoa hyöty oli sen antama sivuttaistuki sekä lievä vaimennus. Testin ajan suoja-putki pysyi paikallaan ja rauhallisena, eikä tärinää ympäristöön juurikaan syntynyt.

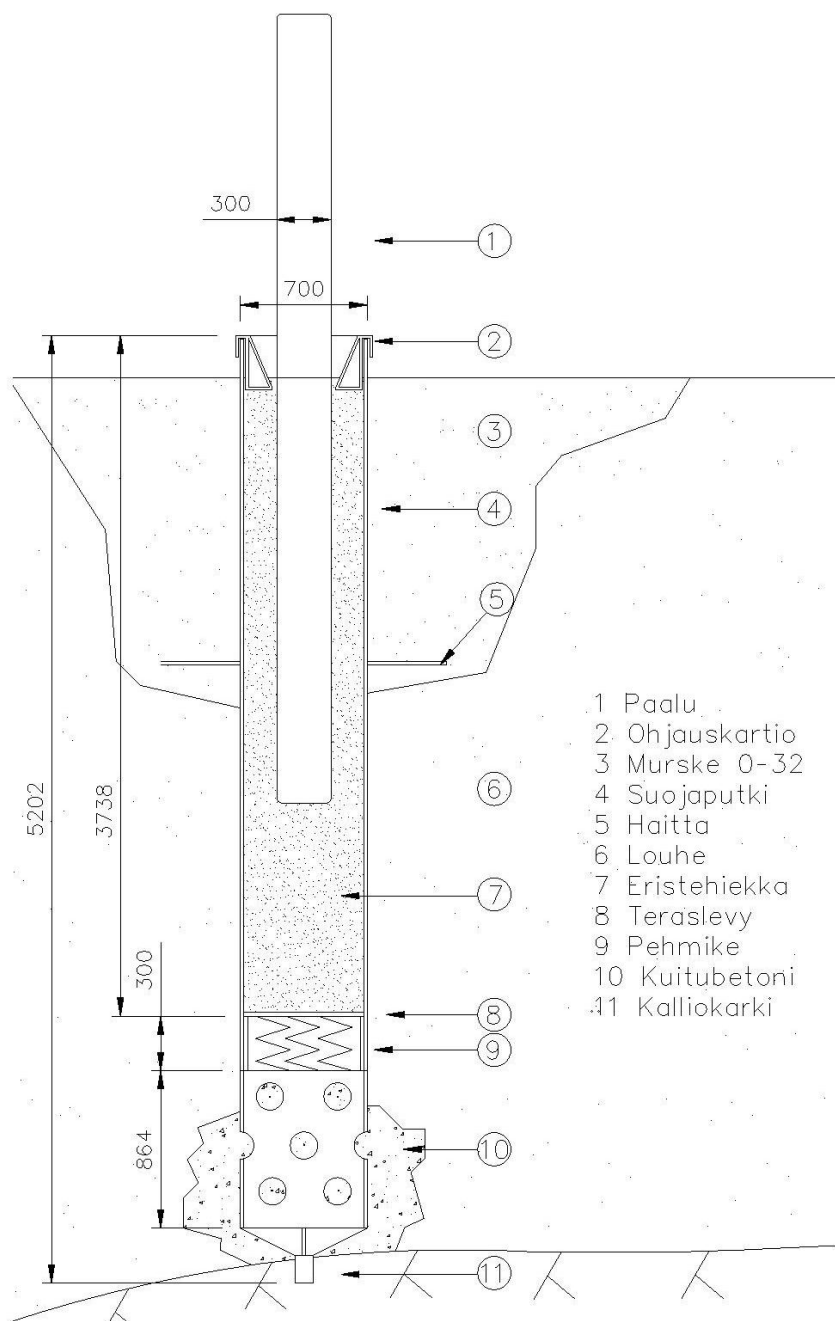
Toistin testin männällä varustetulla akselilla. Joustavan kerroksen päälle asensin 5 cm hienoa hiekkaa, ja päälle laskin akselin johon mäntä oli kiinnitetty. Lopuksi täytin putken hiekalla, ja laitoin putken yläpään ohjaimen paikoilleen. Akseli rauhoittui huomattavasti edellisestä ja toimi erinomaisesti. Testin ajan suoja-putki pysyi paikallaan ja rauhallisena eikä tärinää ympäristöön syntynyt.

Tässä testissä mitatut melutasot on laskettu kolmen suurimman mittaustuloksen aritmeettisena keskiarvona käytettäessä 5 kg:n vapaapudotusjärkälettä yhden metrin iskulla. Äänitehotasot mittasin ilman pehmikettä ja tulokseksi sain 130 dB (A).

## 6.2 Vaihtoehto 2. Paalutus hiekkatäytteiseen putkeen

Tässä vaihtoehdossa lyödään tulppaamatonta putkea sekä akselia hiekalla täytettyyn pohjasta tulpattuun putkeen, joka on vaimennettu alapäästään. Tavoitesyvyyden saavuttamisen jälkeen nostetaan koepaalu takaisin ylös paalutusalan ratkaisuille. Käytännön kokeet osoittivat akselin toimivan

paremmin kuin putken. Lisäksi akseli kestää jatkuvaa paalutusta huomattavasti paremmin kuin putki. Edellisen parannetun koelyöntipaikan suojaputki on tähän erittäin sopiva, jolloin tätä pystyy käyttämään tarvittaessa kuten alkuperäistä, vaikka se ei täydellinen ratkaisu olekaan. Alla olevassa kuvassa 10 on luonnoskuva koelyöntipaikasta.



KUVA 10. Luonnoskuva ja testeissä käytettyjä pienoismalleja (Laurila 2013)

Tässä kokeessa olen hyödyntänyt vaihtoehdossa 1 käytettyä suojaputkea, enkä käy sitä tässä uudestaan läpi. Toiminta ja ongelmat ovat myös samat loppulyöntejä tehdessä pohjaa vasten, kuten akselissa ilman mäntää. Sileän akselin saisi nostettua paaluvinsillä ylös putkesta, mutta putken nostoon tarvitaan paalutuskoneiden lisävarusteita esimerkiksi vibraa, koska kitka huomattavasti isompi.

Alustavissa kokeissa käytin testipaaluina erikokoisia akseleita sekä putkia. Suojaputkena oli kaikissa kokeissa Ø 75/70-285 mm pituinen teräsputki. Löin testipaaluja 5 kg:n järkäleellä käyttämällä eri-

mittaisia iskuja. Putken täytin sen verran vajaaksi, että syrjäytyvä hiekka mahtui siihen paalun painuessa.

Painaumakokeet tein käyttäen 5 kg:n vapaapudotus järkälettä ilman iskutyynyä, iskun pituus oli 1 metri. Testissä käytin paaluina Ø 42,4/35,9-350 mm teräsputkea, sekä Ø 30-350 mm akselia. Aloitin testin asettamalla koepaalun suojaputken keskelle ja asetin paalun tukevasti pystyyn, jonka jälkeen mittasin lähtöarvon. Testissä mittasin etenemän jokaisen lyönnin jälkeen, mutta taulukkoon 6 kokosin ne sarjoina, koska tulokset ilmenevät näin selkeämmin.

Taulukko 6. Etenemä testin tulokset (Laurila 2013)

Testijärkäle	Paalu	Lyöntejä	Painauma	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	1 kpl	Lähtöarvo	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	1 kpl	Lähtöarvo	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	1 kpl	10	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	1 kpl	20	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	48	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	10 kpl	86	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	42	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	10 kpl	35	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	35	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	10 kpl	31	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	21	mm
5000 g Isku 1 m	Putki	10 kpl	20	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	20	mm
5000 g Isku 1 m	Akseli	10 kpl	18	mm
Tulos: Putken keskimääräinen etenemä	4,57 mm x	41 kpl	192	mm
Tulos: Akseli keskimääräinen etenemä	3,18 mm x	61 kpl	194	mm

Kokeessa paalut toimivat yllättävän hyvin, ja syrjäytti maata ylöspäin eikä kasvattanut maapainetta putkessa. Joustavaa kerrosta vastaan lyödessä maa löyhtyy hieman jokaisen iskuaallon jälkeen, joka vähentää painetta putkessa ja auttaa paalun etenemistä vaimentaen samalla tärinää.

Molemmat paalut toimivat hyvin, vaikka joustava kerros olisikin voinut olla hieman ohuempi. Tämä olisi vähentänyt akselin rauhallista pomppimista. Akselin ylösnosto onnistui vaimennetusta putkesta sormilla vetämällä, mutta putkea en saanut ylös kuin naputtelulla. Sileä akseli nousee testin perusteella paaluvinnin voimalla takaisin lähtökorkeuteen, joka helpottaa paalun käyttöä.

Tein vertailukokeen vaimentamattomaan putkeen, johon ei akseli kunnolla uponnut. Akselin painauman vähennyttyä suojapukki muuttui akselin kanssa epävakaaksi. Akselin kitka oli kasvanut edellisestä testistä maapaineen ansiosta, jonka vuoksi akseli ei noussut ylös samalla tavalla.

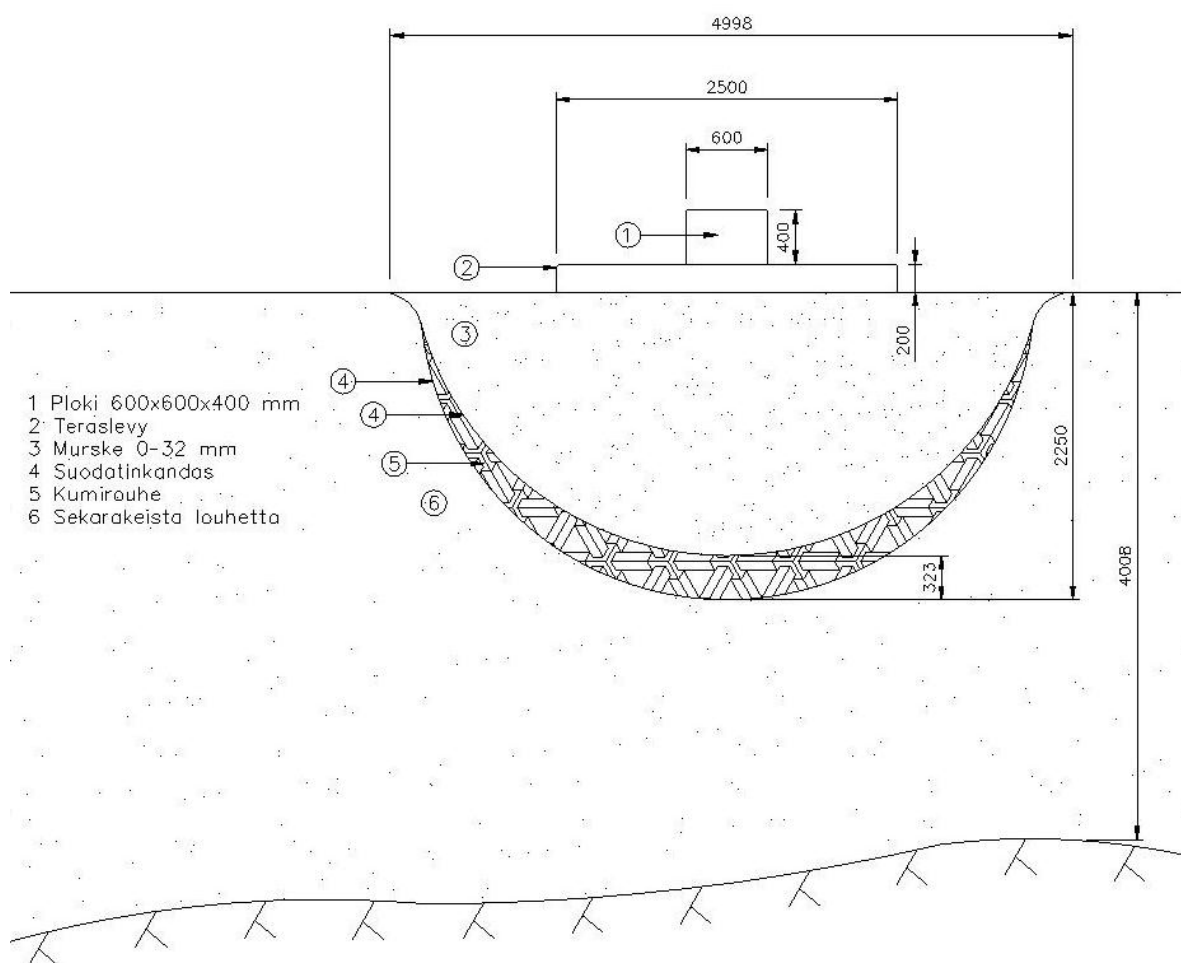
Valitettavasti tärinän mittauslaitteita ei ollut käytettävissä tässä työssä, mutta suojaputkessa oleva joustava kerros vaimensi tärinän tehokkaasti verrattuna samaan testiin ilman kumikerrosta.

Tässä kokeessa mitatut melutasot on laskettu kolmen suurimman mittaustuloksen keskiarvona käyttäessä 5 kg:n lyöntijärkälettä yhden metrin iskulla ilman pehmikettä. Akselissa melunmittauksen tulos oli 128 dB (A) ja putkessa 125 dB (A).

### 6.3 Vaihtoehto 3. Vaimennettu kaivanto

Vaihtoehdossa 3 on edelleen kehitetty tällä hetkellä käytössä olevaa levyn toimintaidea. Vaikka toimintaperiaate on sama, niin tässä syntyy huomattavasti vähemmän melua ja tärinää. Testasin vaimennettua kaivantoa erikokoisilla ja mallisilla levyillä käyttäen 5 kg:n järkälettä sekä erikokoisia vasaroita. Käytännön kokeissa totesin parhaiten toimivaksi pyöreän levyn, jonka massa on pienempi kuin järkäleen.

Tässä koepaaluutuksessa käytin pienoismallina moreeniin tehtyä pyöreää kaivantoa, jonka halkaisija oli 420 mm ja syvyys 160 mm. Vuorasin kaivannon pohjan 30 mm kimmoisalla äänieristelevyllä (RP30MV) ja täytin kaivannon hienorakeisella moreenilla tiivistämällä kerroksittain. Kaivannon täytön massa oli 27,5 kg. Kuvassa 11 on luonnos koelyöntipaikasta.



KUVA 11. Luonnos koelyöntipaikasta (Laurila 2013)

Painaumakokeet tein käyttäen 5 kg:n vapaapudotus järkälettä ilman iskutyynyä, iskun pituus oli 1 metri. Teräslevyt joita käytin testissä olivat Ø 190x8 mm sekä Ø 270x20 mm. Tutkin lisäksi paalu-

tuksesta aiheutuvaa tärinää, iskuaallon välittymistä kaivantoon sekä levyn käyttäytymistä. Nykyisellä koeajopaikalla levy on lähtenyt kallistumaan, joten selvitin tätä ongelmaa testin yhteydessä.

Aloitin testin lyömällä esitiivistettyyn kaivantoon ensin viisi kertaa, joka jälkeen mittasin lähtöarvon. Löin 7x10 lyönnin sarjan ja mittasin etenemän jokaisen sarjan jälkeen. Levyt eivät lähteneet testin aikana kallistumaan, vaan upposivat suorassa. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 7 on kokeen tulokset.

TAULUKKO 7. Testin tulokset (Laurila 2013)

Testijärkäle	Levyn koko	Lyöntejä	Tulos	Painauma
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	5 kpl	290 mm	Lähtöarvo
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	297 mm	7 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	302 mm	5 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	307 mm	4 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	311 mm	4 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	315 mm	4 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	319 mm	4 mm
5000 g Isku 1 m	190x8 mm	10 kpl	322 mm	3 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	5 kpl	278 mm	Lähtöarvo
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	280 mm	2 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	282 mm	2 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	284 mm	2 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	286 mm	2 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	288 mm	2 mm
5000 g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	300 mm	1.5 mm
500 0g Isku 1 m	270x20 mm	10 kpl	301 mm	1 mm

Kokeen tulos oli arvion mukainen ja levyt toimivat toimi hyvin. Testissä käytetyissä levyissä oli pinta-aloissa puolet eroa, joka oli myös painuman ero. Molemmat levyt syrjäyttivät materiaalia symmetrisesti ja jälki oli kuin pommi olisi räjäytetty. Kuvassa 12 on kaivanto testin jälkeen.



KUVA 12. Kaivanto testin jälkeen (Laurila 2013)

Melutasoja mitatessa tein myös vertailutestin tiiviiseen moreeniin, josta kaivannon vaimennuksen hyöty tuli hyvin ilmi. Melutaso oli tässä testissä huomattavasti korkeampi. Iskuaalto löi takaisin järkäleeseen, kuten Junttanin koelyöntilevyssäkin. Etenemää ei ollut ja levy oli epävakaampi terävän pomppimisen takia. Tärinä tuntui voimakkaasti jaloissa, mitä ei vaimennetussa kaivannossa tuntenut. Valitettavasti tärinän mittaustuloksia ei ollut käytettävissä tässä työssä.

Tässä kokeessa mitatut melutasot on laskettu kolmen suurimman mittaustuloksen aritmeettisena keskiarvona käytettäessä 5 kg:n vapaapudotusjärkälettä. Äänitehotasot mittasin ilman pehmikettä, 6 mm vaneripehmikkeellä sekä 4 mm kumipehmikkeellä. Tulokset ovat alla olevassa taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Melunmittauksen tulokset (Laurila 2013)

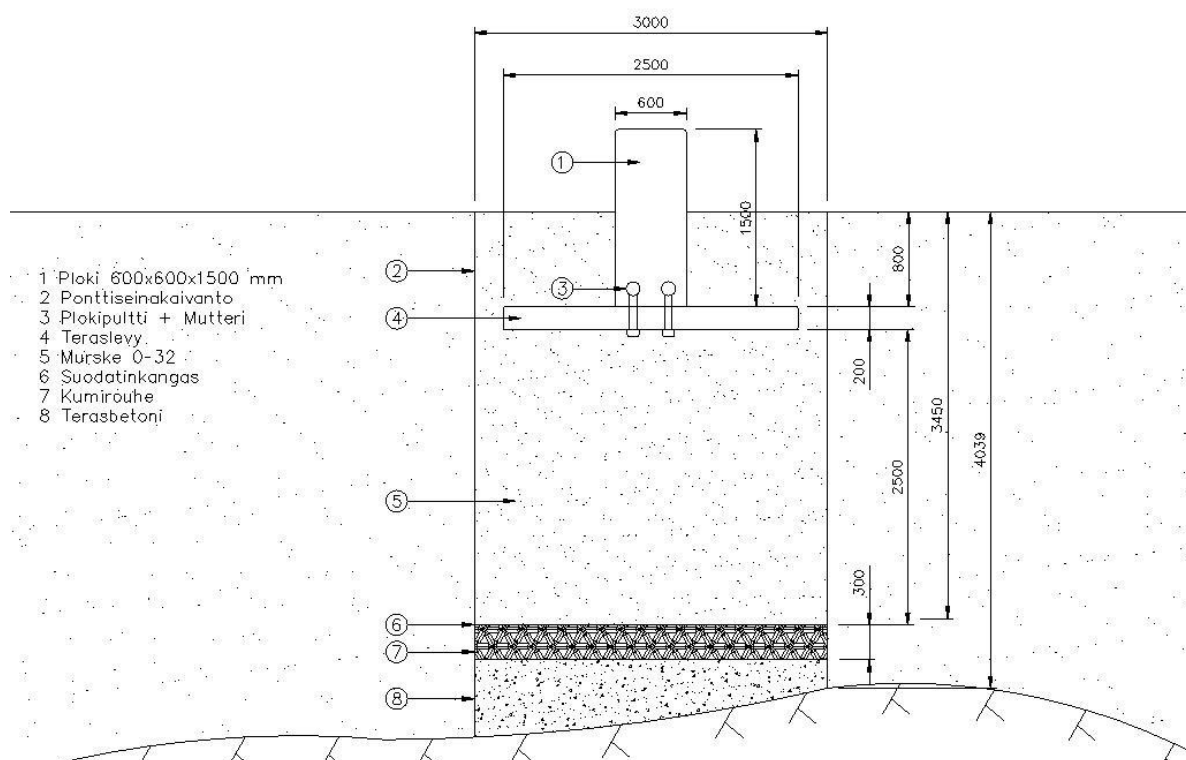
Testijärkäle	Isku	Testauspaikka	Levyn koko	Ilman	Kumi	Vaneri
5 000 g	1 m	Tiivis moreeni	190x8 mm	Yli 140 dB (A)	135 dB (A)	123 dB (A)
5 000 g	1 m	Vaimennettu kaivanto	190x8 mm	132 dB (A)	130 dB (A)	123 dB (A)
5 000 g	1 m	Tiivis moreeni	270x20 mm	Yli 140 dB (A)	136 dB (A)	123 dB (A)
5 000 g	1 m	Vaimennettu kaivanto	270x20 mm	134 dB (A)	132 dB (A)	123 dB (A)

#### 6.4 Vaihtoehto 4. Ponttiseinäkaivanto

Vaihtoehdossa 4 on edelleen kehitetty vaihtoehtoa 3. Toimintaperiaate on sama kuin edellisessä vaihtoehdossa. Eroina ovat kaivannon muoto sekä iskuaallon heijastuminen. Työssä raportoidun testin tein samoilla pyöreillä levyillä, kuin edellisen vaihtoehtoon. Myös tässä oli käytössä 5 kg:n järkäle, sekä erikokoisia vasaroita. Tämän vaihtoehtoon etenemätön levy toimi yhtä hyvin neliskanttisena suorakaiteen muotoisessa kaivannossa, jossa pystyisi käyttämään vakiomittaista levyä. Olin suunnitellut tämän tehtäväksi isolla putkella, mutta työkaverini Aimo Kortelainen ehdotti ponttiseinän käyttöä joka ei rajoita levyn muotoa eikä kokoa. (Kortelainen 2013-05-21)

Ponttien nouseminen ja kestäminen tuli ensimmäisenä ongelmana mieleen, mutta tämä on ratkaistavissa kuten suojaputken nouseminenkin. Koelyöntipaikan kallio viettää voimakkaasti, joten ponttien hyvänä puolena on se että, ne saa lyötyä kallioon asti joka kohdasta. Yksi vaihtoehto oli tämän kaivannon tekeminen kokonaan betonista. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 13 on luonnos koelyöntipaikasta.





KUVA 13. Luonnos koelyöntipaikasta (Laurila 2013)

Painaumakokeet tein käyttäen 5 kg:n vapaapudotus järkälettä ilman iskutyynyä, iskun pituus oli 1 metri. Ponttiseinäkaivannon pienoismallina toimi kuvassa 14 oleva 10 litran peltiämpäri, jonka upotin moreeniin. Tämän jälkeen tiivistin ulkopuolta vain hieman, jotta näin kestääkö astia paalutuksesta syntyvän maanpaineen. Pystyseinäisen kaivannon halkaisija oli 295 mm ja syvyys 190 mm. Pohjalle oli 30 mm rouhe-eriste (RP30MV) ja sen päälle 4 mm kumilevy.



KUVA 14. Kaivannossa joustava kerros pohjalla (Laurila 2013)

Ensimmäistä painauma testiä varten täytin kaivannon seuraavilla kerroksilla: joustokerros 34 mm + 80 mm/8 kg moreenia + Ø 270x20 mm levy + 60 mm/6 kg moreenia vastapainona. Toista painauma testiä varten täytin kaivannon seuraavilla kerroksilla: joustokerros 34 mm + 160 mm/16 kg moree-



nia, jonka päälle tuli Ø 190x8 mm teräslevy. Täytöt tein kerroksittain tiivistäen. Paalutus tapahtui levyä vasten olevaan 6 kg:n akseliin.

Testasin kaivantojen toimintaa lyömällä esitiivistettyyn kaivantoon ensin viisi lyöntiä, joka jälkeen mittasin lähtöarvon. Löin 7x10 lyönnin sarjan, ja mittasin etenemän jokaisen sarjan jälkeen. Testien tulokset on kerätty taulukoon 9.

TAULUKKO 9. Testin tulokset (Laurila 2013)

Sarja	Testijärkäle	Levyn koko	Lyöntejä	Painauma
1	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	8 mm
2	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	5 mm
3	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	3 mm
4	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	3 mm
5	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	3 mm
6	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	3 mm
7	5 000 g	190x8 mm	10 kpl	3 mm
1	5 000 g	270x20 mm	10 kpl	2 mm
2	5 000 g	270x20 mm	10 kpl	1 mm
3	5 000 g	270x20 mm	10 kpl	0 mm

Kokeissa Käyttämäni moreeni oli hieman liian hyvin tiivistyvää molempiin testeihin, koska se ei löyhtynyt iskujen jälkeen vaan tiivistyi testien aikana kivekiksi. Pienempi Ø 190 mm maata syrjäyttävä levy muuttui testin aikana epävakaaaksi, koska sen pohjaan tiivistyi moreenia. (kuva 15) Joustokerros olisi voinut olla ohuempi, koska paalu pomppi hieman liikaa. Huonommin tiivistyvällä murskeella levyt toimivat paremmin. Valitettavasti tärinän mittaustaitteita ei ollut käytettävissä tässäkään työssä, mutta aistinvaraisesti arvioituna tärinätasot olivat pieniä. Melutasot olivat tässä kokeessa Ø 190x8 mm levyssä hieman suuremmat kuin Ø 270 mm levyssä varsinkin lyödessä pehmikkeellä.



KUVA 15. 190 mm levyn pohjaan tiivistynyttä moreenia (Laurila 2013)

## 6.5 Vaihtoehto 5. U-putki

Vaihtoehdossa 5 on mietitty ratkaisua etenevän paalun nostosta aiheutuvan vaivan poistamista. Esitelin aikaisempia ideoitani työkaverini Vesa Laitiselle, joka esitti etenevän akselin tai putken noston ratkaisemiseksi u-mallista akselia, jota voisi lyödä vuorotellen molemmista päistä. Tällöin sitä ei tarvitse nostaa. Jatkojalostimme yhdessä ideaa, ja totesimme että tämä voisi toimia käyttämällä akselin sijasta tiivistymätöntä soraa tai muuta massaa. Valmistin samana iltana ensimmäisen prototyypin 38 mm hydrauliiikaputkesta, ja testasin sen toimintaa täyttämällä putken hiekkapuhallushiekalla, ja mäntänä käytin kuusiokolopulttia. Tämä toimi kohtalaisen hyvin testissä, vaikka hiekkapuhallushiekka aiheutti suhteellisen pitkässä putkessa paljon kitkaa. (Laitinen 2013-8-23)

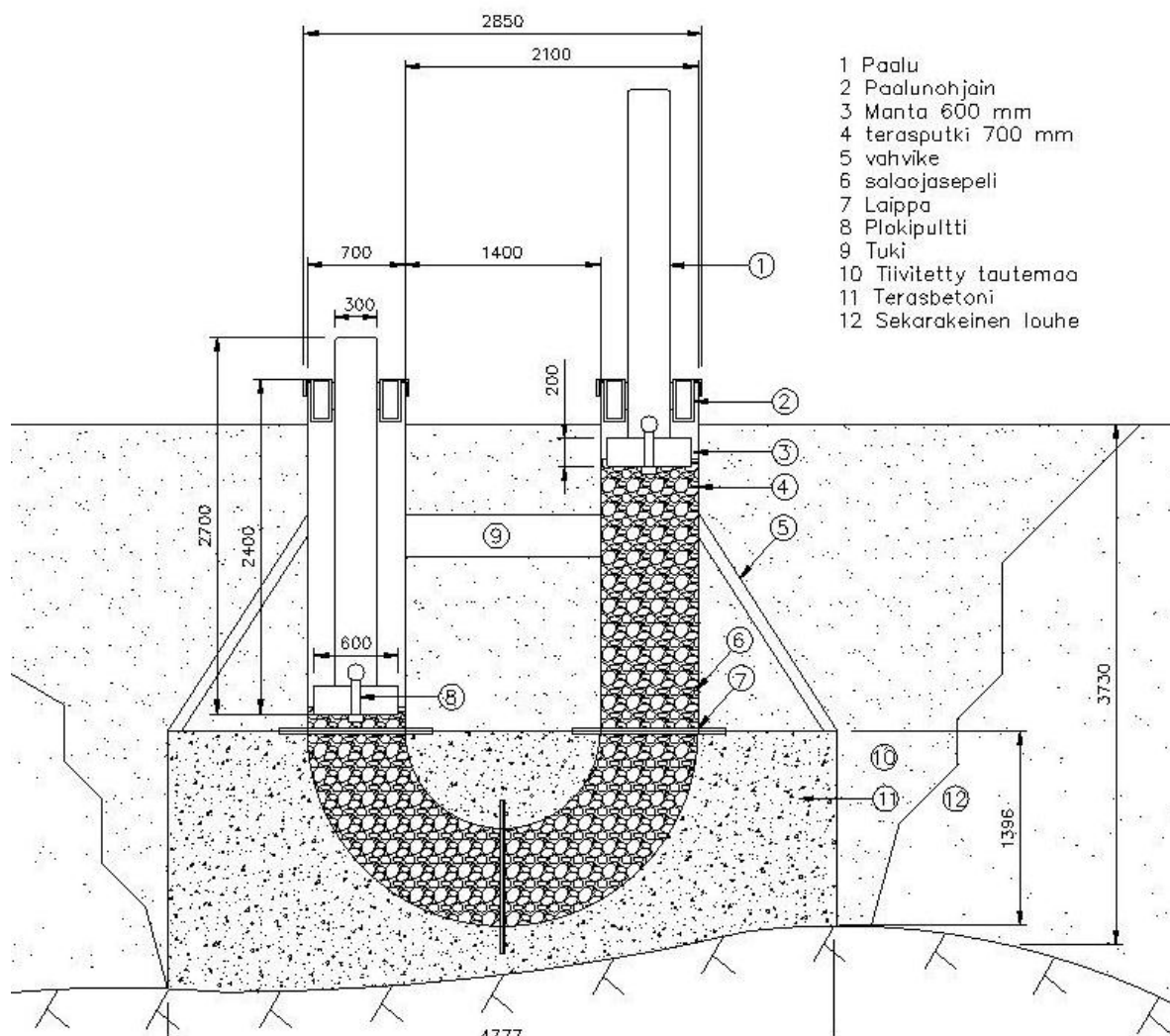
Toimintaperiaatteena tässä testipaikassa on, että paalu työntää edessään salaojasepeliä putken toiseen päähän, jossa sepelin taso nousee yhtä paljon kuin toinen puoli laskee. Kun maksimisyvyys on saavutettu, lyödään paalu toiseen reikään. Nostamalla paalun pois vapaasta reiästä, saadaan vastusta kevennettyä. Vastaavasti vastapainoa lisäämällä, saadaan vastusta kasvatettua. Tarvittaessa paalua voi nostaa paaluvinssillä.

Tässä mallissa voi käyttää iskutyynyn melun poistamiseksi etenevään paaluun suunnittelemaani ääniloukkua. Kuvassa 16 on testipaalu, 5 kg:n järkäle sekä U-putken prototyyppi, joka on upotettu 100 mm maahan erilaisien materiaalien vaihdon helpottamiseksi.



KUVA 16. Testipaalu ja u-putki testissä (Laurila 2013)

Näissä kokeissa käytin isompaa pienoismallia kuin ensimmäisessä testissä, koska pienessä putkessa suhteellinen raekoko ja mittakaava on vaikea saada vastaamaan todellisuutta. Käytin tässä prototyypissä vain terästä rakenteena, vaikka täysikokoinen putki pitäisikin valaa kallion päälle betoniin, jotta se kestäisi. U-putki on tehty Ø 75/70 mm putkesta ja paaluna M30 pultti jossa kierteellä Ø 68 mm mäntä. Alla olevassa kuvassa 17 on luonnos U-putkesta.



KUVA 17. Luonnos testipaikasta (Laurila 2013)

Tämän painaumamittauskoe tehtiin käyttämällä putkessa Kekkilän rantakiveä, joka on 8–12 mm veden hiomaa luonnonkiveä. Sylinterin toisessa päässä ei ollut paalua eikä vastapainoa. Tutkin testeissä paalun etenemää, paalutuksesta aiheutuvaa melua ja tärinää, iskuaallon välittymistä erilaisissa väliaineissa sekä U-putken käyttäytymistä. Testeissä käytin erilaisilla testipaaluja ja vastapainoilla.

Aloitin testin lyömällä kerran 5 kg:n järkäleellä 1 metrin iskulla Ø 68 mm männällä varustettuun paaluun, joka oli Ø 75/70 mm U-putkessa. Rantakivet oli esitiivistetty ennen lähtöarvon mittaamista. Testasin etenemää 120 mm tavoitesyvyyteen asti 10 lyönnin sarjoilla ja mittasin etenemän jokaisen sarjan jälkeen. U-putki ei lähtenyt testin aikana kallistumaan ja paalun eteni kokoajan täysin suorassa.

Kokeen tulokset olivat seuraavanlaiset: 120 mm tavoitesyvyyteen pääsin 37:llä 10 sarjan lyönnillä, jolloin sarjan keskimääräiseksi etenemäksi tuli 3,24 mm. Etenemä oli erittäin tasainen kaikkien sarjojen aikana, mutta olisi voinut olla hieman suurempi, koska putken toisessa päässä ei ollut paalua vastapainona. Erilaisilla massoilla ja vastapainoilla saa etenemän säädettyä mieleiseksi, jolloin tämä ei ole ongelma. Paalu ei pomppinut vaan energia suuntautui erittäin hyvin eteenpäin.

Kokeen tulos poikkesi miettimästäni, koska vastusta oli testaamillani paalun ja järkäleen painon kantavilla materiaaleilla enemmän kuin olin alustavissa kokeissa havainnut. Kiviaines kesti hyvin testi-paalutuksen ja tarvetta sepelin vaihdolle ei ole kuin harvoin. Melutaso oli 128 dB (A), joka on samalla tasolla muiden etenevien paalujen kanssa lyötäessä ilman pehmikettä.

## 6.6 Äänien vaimentaminen iskutyynyyn

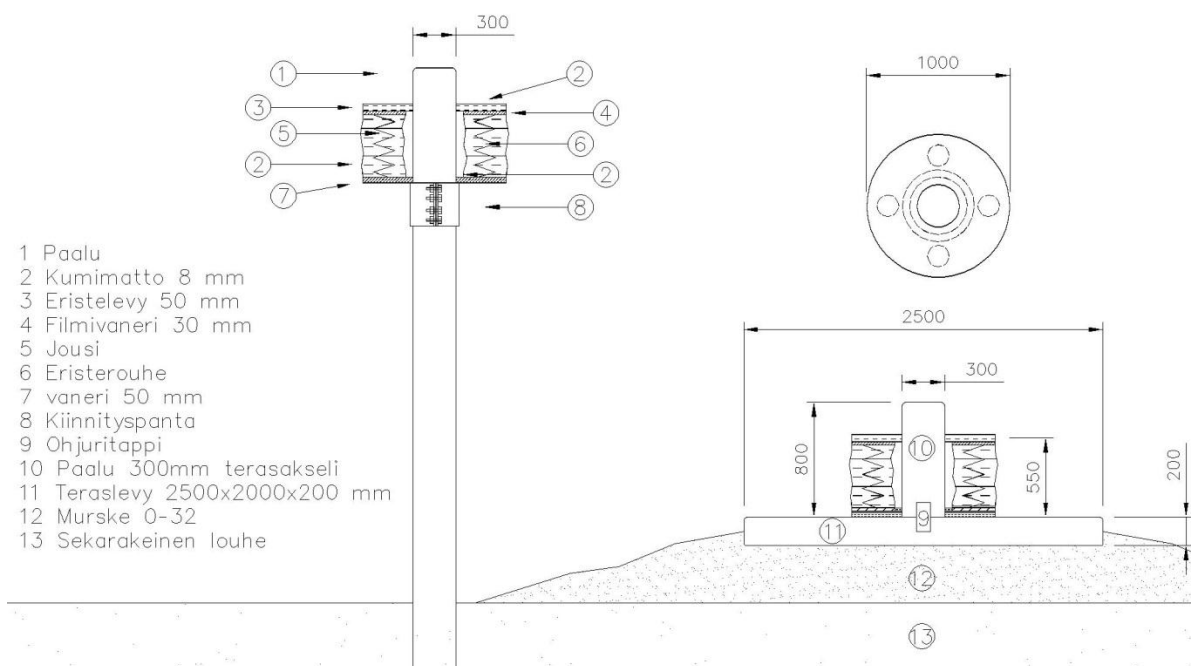
Yksi työni tavoitteista oli saada vaimennettua erityisen häiritsevää 2000–4000 Hz ääntä. Muilla ratkaisuillani vaimennetaan lähtökohtaisesti noin 200 Hz ääntä, joka aiheuttaa suurimman melun. Tähän on etsitty erilaisia ratkaisuja, mutta järkäleiden koeajossa olevaan ongelmaan ei löytynyt mistään valmista ratkaisua. Valmiiden ratkaisujen huono käytettävyys lyhyissä testeissä, järkäleiden ja iskutyynyjen erilaisuus, sekä erilaiset koepaaluratkaisut vaativat asian miettimistä oman työni kannalta.

Perinteisesti iskutyynyssä on käytetty puuta betonipaalun pään suojana, joka samalla vaimentaa iskutyynystä aiheutuvaa melua. Koeajossa käytetään kestävyysvuoksi teräksisiä paaluja, josta syntyy enemmän melua kuin muista paaluista. Koeajossa puuta ei käytetä melun vaimentamiseen, koska se saa koeajopaalun leikkautumaan pesään kiinni. Toinen ongelma on puun syttyminen iskutyynyn kautta välittyvästä energiasta.

Suunnittelemani ääniloukku vaimentaa melua kaikissa koeajoon miettimissäni ratkaisuisissa, mutta pitkän putken soimista se ei pysty juurikaan vaimentamaan. Tähän on kuitenkin kehitetty Junttanilla sekä maailmalla toimivia ratkaisuja. (Koffert 2013)

Kehitin alla olevan jousivoimalla tiivistävän ääniloukun, jota voi käyttää ainoana ratkaisuna tai muiden vaimennusratkaisujen rinnalla. Toimintaperiaatteena on eristää ääni iskutyynyn pesään tiivistämällä se eristelevyllä, joka painatetaan sitä vasten järkäleen kuormittamilla jousilla. Tällä ääniloukulla saa tehokkaasti vaimennettua iskutyynystä tulevaa ääntä sekä ääniloukun sisälle mahtuvien koepaalujen varresta sekä alapäästä lähtevän terävän äänen. Kuvassa 18 on luonnospiirros ääniloukusta.





KUVA 18. Luonnos ääniloukuista (Laurila 2013)

Olen suunnitellut käyttäväni laipoissa vaneria sekä teräsputkien tilalla kumimattoja, jolloin ääniloukun rakenne on erittäin yksinkertainen. Näillä materiaaleilla ääniloukku ei ole itse äänen lähde. Kuvassa 19 oleva prototyyppi toimi yllättävän hyvin, mutta ongelmana olivat teräksiset laipat ja putket, jotka soivat jos teräspaalu osui niihin. Prototyypillä tehdyissä testeissä sain aikaan 9 dB vaimennuksen, joka ylitti kaikki odotukset. Teen täysikokoisen prototyypin lähiaikoina, jolloin pääsen testaamaan sen toimintaa aidossa koeajossa. Testeissä käyttämäni ääniloukun prototyypin valmistin materiaaleista jotka käteen sattuivat, mutta luonnoksessa oleva on suunniteltu vähemmän resonoivista materiaaleista.



KUVA 19. Ensimmäinen melumittauksissa käytetty prototyyppi (Laurila 2013)

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella Junttan Oy:lle uusi, käytännöllinen sekä teknisesti toimiva koeajopaikka hydraulijärkäleille. Pohdintaan olen koonnut jokaisesta suunnittelemastani vaihtoehdosta niiden vahvuuksia, heikkouksia ja kustannusarvioita. Opinnäytetyötä tehdessäni olen miettinyt hyvin paljon erilaisia ratkaisuja, mutta testeissä ne eivät osoittautuneet niin toimiviksi ja kestäviksi kuin ne jotka tähän työhön valitsin. Näitä ratkaisuja olen testannut erilaisilla pienoismalleilla ja tarvikkeilla, joista osa on alla olevassa kuvassa 20.



KUVA 20. Erilaisia pienoismalleja sekä kokeissa käytettyjä tarvikkeita (Laurila 2013)

Työstä rajattiin pois koelyöntipaikkojen työpiirustukset sekä tarkat tarjouksiin perustuvat kustannusarviot. Näiden lisäksi jätin suunnittelemani hydraulisen koelyöntipaikan pois työstä, koska se ei ole toteutettavissa rakennusalan ratkaisuilla eikä tällä hetkellä muutenkaan suurempien kustannuksien vuoksi. Työn perusteella voidaan kuitenkin arvioida mikä toimii Junttanin käytössä parhaiten vai onko esimerkiksi hydraulinen koepaalu kuitenkin parempi ratkaisu.

### 7.1 Alkuperäisen parantaminen

Alkuperäisen paalun toimintaidea ei toiminut käytännön kokeissa, joten todennäköisesti se ei toiminut kunnolla myöskään koeajopaikalla. Pitkä hoikka akseli aiheuttaa vain turhan kovia iskuaaltoja takaisin järkaleeseen. Männän kanssa tämä toimikin jo huomattavasti paremmin, koska putkessa oleva hiekka toimii vastapainona paalun pomppaamiselle.

Parasta ratkaisussa on parannettu suojaputki, joka toimii myös etenevillä paaluilla. Tämän putken asentaminen Junttanin koeajopaikalle kannattaisi tehdä kaivamalla, koska silloin pystyy varmistamaan putken alapään kiinnittymisen kallioon sekä valuun. Kun kaivannon täyttää tiivistämällä, putki saa hyvän sivuttaistuen. Näin pystyy myös nousemisen estävän kauluksen asentamaan syvemmälle.

Tämän koepaalin valmistuskustannuksiksi on arvioitu 22 000 €. Parasta tässä ratkaisussa on käytön helppous, koska käyttäjän ei tarvitse muuta kuin laskea järkäle akselin päälle ja ruveta lyömään paalua.

## 7.2 Paalutus hiekkatäytteiseen putken putkeen

Tässä vaihtoehdossa lyödään tulppaamaton putki tai akseli hiekalla täytettyyn tulpattuun putkeen ja nostetaan paalutusalan ratkaisuilla takaisin ylös. Käytännön kokeet osoittivat akselin toimivan paremmin kuin putken. Akseli kestää jatkuvaa paalutusta huomattavasti paremmin ja sileän akselin nostamiseen ei tarvita lisälaitteita. Edellisen parannetun koelyöntipaikan suojaputki on tähän erittäin sopiva, jolloin tätä pystyy käyttämään kuten vaihtoehtoa 1, vaikka se ei täydellinen ratkaisu olekaan.

Koelyöntipaikan valmistuskustannuksiksi on arvioitu 19 000 €. Parasta tässä ratkaisussa on käytön monipuolisuus, koska tätä pystyy käyttämään tarvittaessa myös etenemättömänä paaluna. Tekemällä tämän U-putken kanssa samoille perustuksille, valmistus kustannuksiksi on arvioitu 9 000 €.

## 7.3 Vaimennettu kaivanto

Vaihtoehdossa kolme kehitin tällä hetkellä käytössä olevaa koeajopaikkaa. Toimintaperiaate on sama, mutta tästä syntyy huomattavasti vähemmän melua ja tärinää. Vaimennettu kaivanto on ehdottomasti helpoin toteuttaa, jolla saadaan kuitenkin aikaan toimiva ratkaisu. Joustava kerros poistaa tärinää ja rauhoittaa levyn toiminnan, vaikka kallio viettääkin sen alla. Parasta tässä on levyn pehmeä käyttäytyminen sekä kestävyys. Joustavan kerroksen paksuudella, täytemaan ominaisuuksilla sekä levyn koolla pystyy vaikuttamaan levyn käyttäytymiseen etenemiseen koepaalutuksessa.

Koelyöntipaikan kunnossapitoon joutuu tekemään töitä kaikista ratkaisuista eniten, joka lisää käyttökustannuksia. Koelyöntipaikan valmistuskustannuksiksi on arvioitu 2 000 €.

## 7.4 Ponttiseinäkaivanto

Vaihtoehdossa neljä on edelleen kehitetty vaimennetusta kaivannosta. Toimintaperiaate on lähes sama kuin edellisessä, mutta tämä ei vaadi yhtä laajaa aluetta kuin vaimennettu kaivanto, jolloin konetta ei tarvitse ajaa joustavan kerroksen päälle. Ratkaisussa parasta on kestävyys, monikäyttöisyys, massojen helppo hallittavuus. Vahvuutena on myös erittäin rauhallinen etenemätön paalu, johon pystyy lyömään isoillakin järkäleillä.

Etenemättömänä paaluna on lähes huoltovapaa ja edullinen käytössä. Koelyöntipaikan valmistuskustannuksiksi on arvioitu 25 000 €.

## 7.5 U-putki

U-putken käytössä on mietitty ratkaisua siihen, kuinka etenevän paalun nostosta aiheutuvan työn sai pienemmäksi. Tämä ratkaisu on mielenkiintoisin kaikista, mutta myös kallein valmistaa. Erikokoisien järkäleiden testaaminen onnistuu hyvin ja etenemän voi valita vastapainoa muuttamalla. Putkessa käytettävä sora tai massa on helppo vaihtaa täyttämällä sitä vain toisesta päästä. U-putki edellyttää huolellista suunnittelua ja toteutusta, koska rakenne joutuu vaimentamattomana kovalle rasitukselle.

Käyttökustannukset ovat pienet ja huoltotarve on vähäistä, joten U-putkea on edullinen käyttää. Koelyöntipaikan valmistuskustannuksiksi on arvioitu 35 000 €.

## 7.6 Äänen vaimentaminen iskutyynyyn

Kehitin tämän jousivoimalla tiivistävän ääniloukun, koska en saanut erityisen häiritsevää terävää ääntä millään muulla pois. Ääniloukkua voi käyttää kaikissa suunnittelemissani ratkaisuissa pelkätään tai muiden vaimennusratkaisujen lisänä. Parasta tässä on edullinen hinta, helppokäyttöisyys sekä vaimennusteho.

Ääniloukun käyttökustannukset ovat erittäin pienet, koska ainoa kuluva osa on tiivistävä eriste. Ääniloukun valmistuskustannuksiksi on arvioitu 500 €.



Tämä työ oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava, mutta palkitseva. Uskoin löytäväni joitakin ratkaisuja hydraulijärkäleen koeajossa oleviin ongelmiin ja onnistuin mielestäni hyvin.

Mielestäni U-putki on paras ratkaisu yleisimmille 3–9 t järkäleille. Isoille järkäleille tekisin ponttiseinäisen kaivannon, koska siinä ei tule kestävyys olemaan ongelma, vaikka järkäleiden koko kasvaisi tulevaisuudessa. Kolmanneksi lyöntipaikaksi tekisin vaihtoehdon kaksi, koska siinä pystyy harjoitteluun koulutuksissa oikean paalutuksen kaikkia työvaiheita.

Koelyöntipaikkojen vertailun helpottamiseksi olen koonnut alla olevaan taulukkoon 9, lyöntipaikkojen tärkeimmät ominaisuudet, mittaustulokset, havainnot sekä arvioni. Kohdat joissa olen arvioinut asteikolla 1–10, olen antanut pisteet käytännönkokeissa tekemiäni havaintojen sekä kokemuksen perusteella. Paalun etenemä on 5 kg:n järkäleen yhden lyönnin aikaan saama etenemä 1 m iskulla ja / merkki jakaa eri testit toisistaan. Melunmittaus on tehty 1 m etäisyydeltä Bruel & Kjaer Type 2226 melumittarilla.

TAULUKKO 9. Koelyöntipaikkojen vertailu (Laurila 2013)

Arvioitava asia	Akseli putkessa	Paalutus putkeen	Vaimen. kaivanto	Pontti-kaivanto	U-putki	Äänen eristys
Paalun etenemä mm	0/0	3,2/4,5	0,2/0,4	0/0,3	0,32	0
Melutaso dB (A)	130	125/128	132/134	132/127	128	– 9 dB
Tärinän vaimennus 1–10 p	6	7	9	9	7	1
Käytettävyys 1–10	9	6	7	8	9	10
Kestävyys 1–10	6	7	10	9	8	9
Käyttökustannukset €/v	2 000	2 000	2 000	500	1 000	100
Valmistuskustannukset €	22 000	19 000	2 000	25 000	35 000	500
Oma arvioni asteikolla 1–10	6	8	8	9	9	10

Jatkotoimenpiteiksi ehdotan, että nykyiselle koelyöntipaikalle tehtäisiin viipymättä vaimennettu kaivanto, sekä otettaisiin ääniloukut käyttöön. Talven 2013–2014 aikana olisi aikaa miettiä seuraavan kesän investointeja sekä Junttanin tarpeita tulevaisuudessa.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AALTONEN, Jani 2010. Melu ja sen vähentäminen. Turun ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 15-10-2013]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/24716>

Geotekniikan suunnittelu. 2013. Paaluperustukset, paalutusohje. *Saatavissa*.  
<https://www.google.fi/#q=Geotekniikan+suunnittelu.+2013.+Paaluperustukset%2C+paalutusohje>

JUNTAN OY. 2013. [Intranet] [viitattu 10-05-2013]. Junttan Oy.

JÄÄSKELÄINEN, Raimo. 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Tammertekniikka.

Kunnat.net, 2013. [verkkoaineisto] [viitattu 19-10-2013] Saatavissa:  
<http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/ymparisto/ymparistonsuojelu/meluntorjunta/Sivut/default.aspx>

LAAKSONEN, Sami 2010. tärinävaikutusten huomioiminen hankkeen eri toimijoiden näkökulmista. Turun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 26-10-2013]. Saatavissa: <http://theseus.fi/handle/10024/16948>

LEPPÄNEN, Hanna 2008. Paalutuksesta ja pontituksesta aiheutuva tärinä. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikankoulutusohjelma. Diplomityö. [viitattu 12-10-2013]. Saatavissa:  
[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.getunderground.fi%2Fgetfile.ashx%3Fcid%3D72843%26cc%3D3%26refid%3D9&ei=IKvXUpmnOYXG4gS05oCoDw&usq=AFQjCNGymdyF9CBV\\_Q6M0tRZG3-LqL4e1g&bvm=bv.59568121,d.bGE](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.getunderground.fi%2Fgetfile.ashx%3Fcid%3D72843%26cc%3D3%26refid%3D9&ei=IKvXUpmnOYXG4gS05oCoDw&usq=AFQjCNGymdyF9CBV_Q6M0tRZG3-LqL4e1g&bvm=bv.59568121,d.bGE)

MATTSSON, Lotta. 25.01.2013. Melun torjunta. Kunnat.net. [viitattu 12-10-2013]. Saatavissa:  
<http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/ymparisto/ymparistonsuojelu/meluntorjunta/Sivut/default.aspx>

MIKKOLA, Panu 2011. Äänenpaineen aiheuttamat tärinät rakenteissa. Turun ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 19-10-2013]. Saatavissa:  
<http://www.theseus.fi/handle/10024/38114>

Opasnet.fi, 2013 . [verkkoaineisto].[viitattu 9-11-2013]. Saatavissa: <http://fi.opasnet.org/fi/Etusivu>

PAALUTUSOHJE 2011: RIL 254-2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RANTANEN, Salme ja PÄÄKKÖNEN, Raune. 2008. Työhygieniä, Kemialliset ja fysiologiset tekijät. Työsuojeluhallinto. Tampere.

Rytmirakennus. [verkkoaineisto]. [viitattu 19-10-2013]. Saatavissa:  
<http://www.rytmirakennus.fi/uudisrakentaminen/paalutus/>

SAARINEN, Ari 2013. Ympäristö.fi. Melu. [verkkoaineisto].[viitattu 12-10-2013]. Saatavissa:  
[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Elinymparisto/Melu](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Elinymparisto/Melu)

SIUKO, Juuso 2009. Halikon sillan penkereiden stabiiliteetin seurantatutkimus. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 19-10-2013]. Saatavissa:  
<http://www.theseus.fi/xmlui/handle/10024/9560>

Työterveyslaitos. [verkkoaineisto]. [viitattu 19-10-2013] Saatavissa:  
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/tarina/Sivut/default.aspx>

Työturvallisuuskeskus, ttk. [verkkoaineisto]. [viitattu 19-10-2013] Saatavissa:

[http://www.tyoturva.fi/tyosuojelu/melu\\_ja\\_tarina\\_vanha](http://www.tyoturva.fi/tyosuojelu/melu_ja_tarina_vanha)

VALTIONEUVOSTON ASETUS TYÖNTEKIJÖIDEN SUOJELEMISESTA TÄRINÄSTÄ AIHEUTUVILTA VAAROILTA 738/2002, 39§ [verkkoaineisto]. Saatavissa.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050048>

Ympäristö.fi. Mäntymäki 2007, YVA-selostus [verkkoaineisto]. [viitattu 9-11-2013]. Saatavissa:

[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Ffname%2F%257B6F561046-6800-4386-AD29-C170D9CA2035%257D%2F42203&ei=pa3XUtaiG4eP5ASy0oDwBg&usg=AFQjCNG7RYf2IxX0D6gG\\_bATtC7kRiu4Eg&bvm=bv.59568121,d.bGE](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Ffname%2F%257B6F561046-6800-4386-AD29-C170D9CA2035%257D%2F42203&ei=pa3XUtaiG4eP5ASy0oDwBg&usg=AFQjCNG7RYf2IxX0D6gG_bATtC7kRiu4Eg&bvm=bv.59568121,d.bGE)

Ympäristö.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 19-10-2013] Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Elinymparisto/Melu)

[FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Elinymparisto/Melu](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Elinymparisto/Melu)